

Bien rénover l'habitat en pisé de mâchefer

Guide technique

Outil de conseil

Éditions du CAUE Rhône Métropole

CAUE
RHÔNE MÉTROPOLE
CONSEIL
D'ARCHITECTURE
D'URBANISME
ET DE L'ENVIRONNEMENT

La région lyonnaise compte l'un des plus importants contingents de bâtiments en mâchefer, marquant l'identité architecturale et constructive du territoire. Ce guide vise à montrer comment une démarche de projet fondée sur les caractéristiques du matériau – ses atouts comme ses contraintes – peut orienter les interventions sur ce patrimoine ordinaire et améliorer la qualité du cadre de vie. Il s'adresse à tous les porteurs de projets, publics ou privés, particuliers ou professionnels.

Bien rénover l'habitat en pisé de mâchefer

Guide technique

Outil de conseil

Éditions du CAUE Rhône Métropole

Publication réalisée par le Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement Rhône Métropole dans le cadre de ses missions reconnues d'intérêt public de sensibilisation, de conseil aux collectivités et d'assistance architecturale et paysagère.

Ce document s'inscrit dans la ligne éditoriale des Guides techniques du CAUE Rhône Métropole.

Direction des éditions du CAUE Rhône Métropole
Frédéric Pronchéry, président
Sébastien Sperto, directeur

Conception, rédaction
Grégory Cluzel

Relecture
Anna Costes

Crédits photographiques
Florent Perroud
(sauf mentions contraires)

Illustrations
Grégory Cluzel
(sauf mentions contraires)

Documentation
Christine Archinard

Diffusion et communication
Magali Trinquier

Graphisme/mise en page
Julien Montet

Photographie de couverture
Habitat individuel construit vers 1925 à Lyon 5



Bien rénover l'habitat en mâchefer
Guide pour la réhabilitation

Éléments de caractérisation
du pisé de mâchefer
en région lyonnaise
& stratégies d'intervention
sur le bâti








BIEN RENOVER L'HABITAT EN MÂCHEFER

Guide pour la réhabilitation
Éléments de caractérisation du pisé de mâchefer en région lyonnaise et stratégies d'intervention sur le bâti

https://caue69.fr/1/page/20152/Bien_renover_l_habitat_en_machefer_br_Guide_pour_la_rehabilitation

Le présent fascicule est tiré du rapport d'étude réalisé par le CAUE Rhône Métropole en partenariat avec le Cerema, avec le soutien de la DRAC Auvergne Rhône-Alpes.
Il est disponible gratuitement en téléchargement sur le site internet
www.caue69.fr

Éléments de caractérisation du matériau et du bâti

Un déchet transformé en ressource 6

Les utilisations du pisé de mâchefer dans l'habitat 8

Connaitre avant d'agir

Les enjeux de la rénovation du bâti ancien 10

L'importance du diagnostic 12

Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Isoler la toiture et le plancher bas 14

S'assurer de la qualité des menuiseries de portes et fenêtres 16

Maintenir les occultations et soigner les équipements de façade 18

Assurer une ventilation satisfaisante 20

Intervenir sur les murs de façade 22

– Logigramme 24
– Le ravalement simple 26
– La correction thermique 28
– L'isolation thermique par l'intérieur 30
– L'isolation thermique par l'extérieur 32

Extensions, Restructurations 36

Lexique 38

Bibliographie, sitographie et liens utiles 40

Bien rénover l'habitat en pisé de mâchefer

Guide technique

Outil de conseil

Éditions du CAUE Rhône Métropole

Éléments de caractérisation du matériau et du bâti

Un déchet transformé en ressource

Le mâchefer de construction est une matière constituée de scories issues de la combustion de machines à vapeur ou de hauts fourneaux sidérurgiques.

Un matériau omniprésent

Le mâchefer a été employé dans le domaine de la construction dans de nombreuses régions françaises, et plus localement dans toute l'agglomération lyonnaise où il est omniprésent, mais également dans la vallée du Gier jusqu'à Saint-Étienne, plus au Nord dans le Forez et le Roannais, et dans la plaine iséroise jusqu'à Grenoble.

Un matériau récent, une mise en œuvre ancestrale

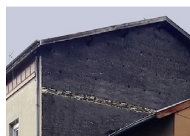
Dans la région lyonnaise, la maçonnerie de mâchefer sous sa forme banchée, qualifiée de « pisé de mâchefer », a connu son véritable essor au début du XXe siècle avec un pic d'utilisation dans l'entre-deux-guerres.

Cette forme constructive est aparue vers la fin du XIXe siècle, par transposition empirique des techniques ancestrales du pisé de terre déjà très présentes.

Pendant près d'un siècle, le mâchefer a été utilisé dans toutes sortes d'ouvrages de maçonnerie : façades, murs pignons, murs refends, allèges de baies, cloisons... Depuis l'artisanat du XIXe siècle jusqu'aux débuts de la préfabrication industrialisée du XXe, il s'est adapté à l'évolution des besoins et des pratiques constructives.

Bon à savoir

Les différentes dénominations du mâchefer



Pisé de mâchefer

Qualifie le procédé constructif dérivé des techniques ancestrales du banchage par lequel un mur en maçonnerie est édifié par compactage de couches successives d'un matériau au sein d'un coffrage. Ici les scories de mâchefer sont introduites comme substitut à la terre crue du pisé traditionnel.



Béton de mâchefer

Désigne un béton léger dans lequel les granulats classiques (graviers, sable) sont partiellement remplacés par des scories de mâchefer. Il peut contenir une quantité variable de ciment.



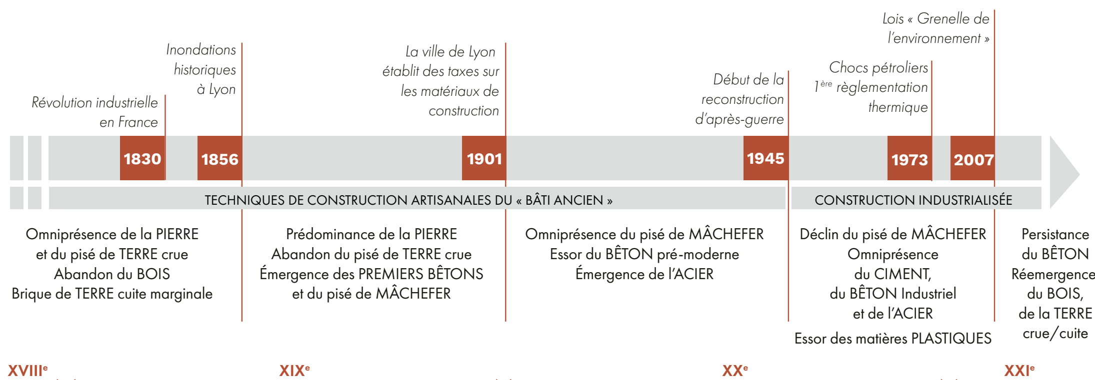
Bloc ou moellon de mâchefer

Désigne l'élément plein moulé à froid préfabriqué, utilisé en général comme composant de mur porteur ou de remplissage.



Parpaing ou brique de mâchefer

Désigne le bloc de construction en aggloméré, creux ou plein, utilisé en général comme élément de maçonnerie légère non porteuse.



Les matériaux de construction de l'habitat à Lyon depuis la révolution industrielle

Une matière hétérogène

La fabrication du mâchefer de construction repose sur l'amalgame de divers composants :

→ des cendres et scories de houille, ou de résidus de fonderie métallurgique (laitiers), pilés ou non ;
→ de la chaux grasse ou hydraulique ;
→ du ciment ;
→ des granulats (sable, graviers, pouzzolanes naturelles ou artificielles) parfois associés à des matériaux de rebut (débris de terres cuites, cailloutis) ;
→ de l'eau.

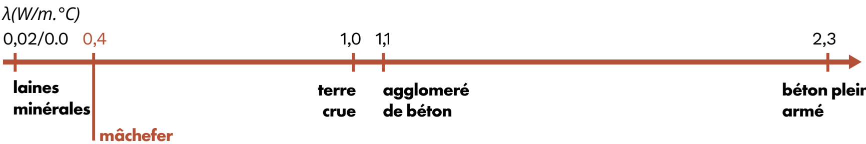
En fonction de la provenance des scories, de la nature et de la proportion des adjuvants (chaux, ciment, eau) ainsi que des granulats (souvent hétéroclites), le pisé de mâchefer se révèle très variable d'un bâtiment à l'autre. Il serait d'ailleurs plus juste de parler « des pisés de mâchefer ».

Par nature non standardisé, ce matériau ne peut donc faire l'objet d'une qualification précise de ses propriétés.

Néanmoins, des mesures en laboratoire réalisées en 2022 sur des échantillons de matériaux prélevés sur plusieurs sites lyonnais ont permis de dresser un profil crédible de ses caractéristiques mécaniques et hygrothermiques (à l'exclusion de ses autres formes —blocs, moellons, parpaings ou briques).

Une conductivité thermique* relativement faible

Elle est environ deux fois plus faible que celle d'un parpaing en aggloméré de béton ou d'un pisé de terre crue. Le mâchefer de construction possède des propriétés isolantes équivalentes à celle d'un bois dur.



Conductivité thermique* relative du pisé de mâchefer au regard d'autres matériaux (plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant).

Une performance isolante non négligeable

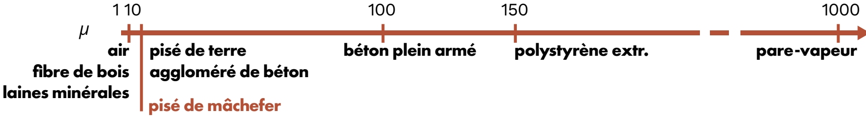
Les grandes épaisseurs mises en œuvre dans des ouvrages en pisé de mâchefer (de l'ordre de 40 à 50 cm) confèrent à la paroi une résistance thermique 14 fois supérieure à celle d'un mur en béton armé.*



Résistance thermique* indicative de la paroi en pisé de mâchefer au regard d'autres matériaux (plus le coefficient de résistance thermique est élevé, plus la paroi est isolante R = ép/ λ).

Une forte sensibilité à la migration de vapeur d'eau

Le pisé de mâchefer est un matériau très ouvert à la vapeur d'eau, comparable aux propriétés du pisé de terre.



Coefficient relatif de résistance à la diffusion de vapeur d'eau* du pisé de mâchefer au regard d'autres matériaux (plus le coefficient est grand, moins le matériau est perméable à la vapeur, plus sa résistance à la diffusion de vapeur est élevée).

SYNTHÈSE DES DONNÉES DE CARACTÉRISATION DU PISÉ DE MÂCHEFER

Grandeur	Masse volumique	Resistance à la compres-sion	Conducti-vité thermique	Chaleur spécifique	Facteur de résistance à la vapeur d'eau*	Porosité	Teneur en eau (20°C, 80%HR)	Absorpti-vité liquide
Symbole	ρ	σ	λ	c	μ	φ	W	Cw,s
Unité	kg/m³	M Pa	W/m.K	J/kg.K	sans unité	%	%	g/(m²*s 0.5)
Maçonnerie de mâchefer (pisé)								
Essais Cerema 2022	1100/1400	1,2/4,2	0,43/0,54	733	9 / 14	23	1,5 / 2,5	147 et 238
Étude A+W 2019	800/1000	1/4,5	0,25/0,75	_	10	32	1	_
Essais Cerema 2018	1100/1200	1,5/4,5	_	_	_	32	1,05 / 1,2	_

Origine des sources :
– résultats des mesures obtenues lors des essais menés en laboratoire par le Cerema en 2018 et 2022 sur plusieurs échantillons de pisé de mâchefer prélevés sur des bâtiments lyonnais ;
– données collectées lors de l'inventaire réalisé par le bureau d'étude A+W en 2019 sur un panel de mesures disponibles dans littérature scientifique et technique.

N.B. Les résultats de tests et de mesures présentés ne peuvent constituer des données de référence absolues pour tous les pisés de mâchefer.

Éléments de caractérisation du matériau et du bâti

Les utilisations du pisé de mâchefer dans l'habitat

En dépit d'expressions architecturales aux accents parfois précurseurs d'un style prémoderne, la construction en mâchefer reste intimement liée à la grande famille du bâti ancien dont elle tire une essence constructive basée sur des techniques ancestrales de mise en œuvre et des savoir-faire traditionnels.

Des ouvrages composites

Caractérisé par une grande variabilité de composition, rendant toute normalisation impossible, le pisé de mâchefer a également fait l'objet d'une mise en œuvre hétérogène. Ainsi, les murs présentent en général une assise en béton de gravier destinée à protéger le mâchefer des remontées capillaires.

En outre, au-dessus de ce soubassement, il arrive que l'édification mobilise des techniques mixtes, propre à l'époque pré-industrielle (Cf. p.9).

Des propriétés mécaniques et physico-chimiques intéressantes

Appelé à relever comme d'autres types constructifs les défis de la transition énergétique, à s'adapter aux modes de vie actuels et à répondre aux exigences patrimoniales, l'habitat en pisé de mâchefer a pour lui de nombreux atouts :

→ une rationalité constructive, des modes de mise en œuvre simples et éprouvés;
→ de bonnes capacités mécaniques (hors arrachement) ;
→ une volumétrie souvent compacte ;
→ une matérialité robuste, peu vulnérable aux attaques du temps, y compris pour les épidermes enduits ;
→ une maçonnerie microporeuse moins dense que d'autres matériaux traditionnels (pierre, brique, terre crue), conférant aux parois des capacités thermiques significatives ;
→ une maçonnerie épaisse assurant un fort déphasage thermique* très favorable au confort d'été.

Des castors aux hôtels particuliers, une grande diversité typologique

Utilisé dans la construction pendant près d'un siècle, depuis la seconde moitié du XIX^e^ siècle jusqu'à la fin des années 50 le mâchefer a été présent dans une part considérable de bâtiments d'habitation. Il est impliqué dans une grande diversité de modèles constructifs devenus des archétypes de l'architecture courante. On le trouve ainsi employé dans des programmes aussi variés que l'habitat individuel populaire (maisons Castors, cités-jardins), le parc de logements collectifs sociaux (logements d'HBM ou PLM), l'immeuble de rapport, mais également dans l'architecture savante pour des demeures bourgeoises ou des hôtels particuliers.

Le mâchefer est présent par ailleurs dans la construction d'équipements publics ainsi que dans un très large corpus de bâtiments d'activités, allant des petites fabriques ou entrepôts faubouriens aux grandes usines manufacturières. De ce corpus spécifique il ne sera pas question dans le présent guide.


Cité HBM Groupe Ravat à Lyon 2 (1923-1932)


Cité HBM des États-Unis à Lyon 8 (1921-1934)


Résidence Jean Macé à Lyon 7 (v. 1946-1949),


Immeuble de la Société des logements économiques Mangini à Lyon 7 (1892-1913)


Immeuble en copropriété à Lyon 3 (1954)

Principaux caractères constructifs de l'immeuble en mâchefer

Entre tradition artisanale et modernité pré-industrielle : L'habitat en mâchefer a donné lieu à des typologies hétérogènes et des expressions architecturales diversifiées selon qu'il relève d'un mode de bâtir traditionnel ou de techniques influencées par la naissance de l'industrialisation.



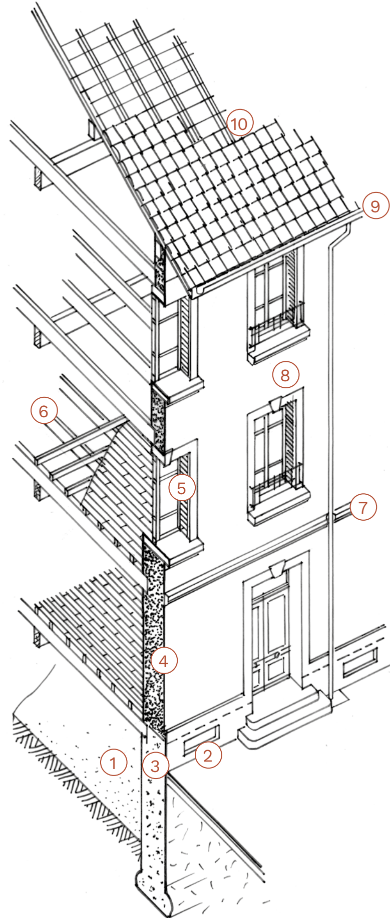
Hôtel Balaÿ, à Lyon 6 (1896)

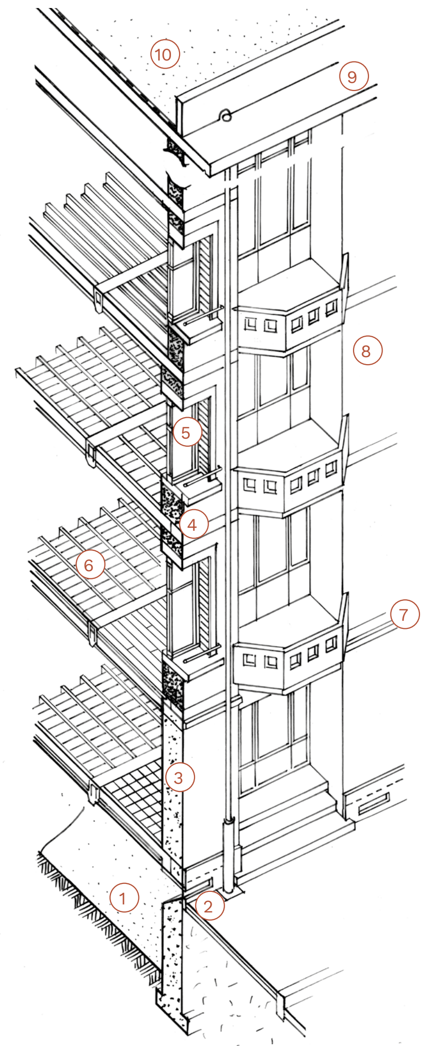


Maison sur Modèle-type Marcel Favier, architecte (1958) © J. Sordoillet



Ancien habitat ouvrier à Vaulx-en-Velin (69), Les petites Cités Tase (v. 1925-1927)





Mise en œuvre traditionnelle :

1. Niveau de cave semi-enterré, sol en terre battue ou lit de gravier
2. Grille de ventilation du sous-sol
3. Murs d'assise en béton de gravier banché (de ± 60/80 cm au-dessus du terrain naturel)
4. Murs de façades en béton de mâchefer banché (ép. 45 cm environ) en lits successifs de hauteur 60 cm ; Arasements et linteaux en ciment armé
5. Baies verticales composées en travées régulières ; Garde-corps en ferronnerie, persiennes métalliques
6. Planchers intermédiaires en poutres et solivage bois
7. Modénatures en ciment naturel (cordons, moulures)
8. Enduit et décors (encadrement de baies fins) au mortier de chaux naturelle hydraulique
9. Forjet, sous face et rives en bois peint (dépassée de toit de 40 cm env.), chéneaux extérieurs en zinc naturel
10. Couverture en tuile plate mécanique rouge

Mise en œuvre pré-industrielle :

1. Niveau de cave semi-enterré, sol en terre battue, lit de gravier ou dalle en béton de chaux
2. Larmier de cave
3. Murs d'assise en béton de gravier banché (de 1 à 2 m de hauteur jusqu'à 2/3 niveaux pour les constructions de 5 étages et plus)
4. Murs de façades en ossature mixte de mâchefer et de ciment armé : trumeaux en mâchefer banché (ép. 40 cm env.) ; chainages, linteaux (et poteaux dans des constructions de 5 étages et plus) en béton ou ciment armé
5. Baies composées en travées régulières ; Barre d'appui en serrurerie ; Persiennes métalliques ; Garde-corps de loggias en briques de mâchefer ou ciment armé banché
6. Planchers en poutrelles béton ou acier (RDC) et hourdis béton ou brique
7. Modénatures en ciment prompt (cordons, appuis)
8. Enduit au mortier de chaux naturelle hydraulique
9. Bandeau d'acrotère
10. Dalle de toit terrasse en ciment armé étanchée

Connaitre avant d'agir

Les enjeux de la rénovation du bâti ancien

Consciente des propriétés physico-chimiques du matériau, la réhabilitation des ouvrages en pisé de mâchefer implique une approche attentive au comportement technique et hygrothermique du bâti ancien et une conduite respectueuse de son héritage culturel et patrimonial.

Ces différents enjeux seront signalés dans le présent guide par un pictogramme spécifique.



Enjeu patrimonial

Les travaux impliquent une intervention soucieuse de la valeur culturelle, à la fois historique et architecturale de l'ouvrage, tout en adaptant le bâti aux usages. Les interventions veillent à maintenir l'intégrité des formes et des structures sans dénaturer l'architecture et l'environnement urbain.



Enjeu technique

La rénovation implique d'entretenir ou de modifier le bâti en respectant les propriétés mécaniques du matériau et de mettre en œuvre des transformations compatibles avec le système constructif d'origine pour l'adapter aux normes actuelles et assurer sa perennité ainsi que la sécurité de ses occupants.



Enjeu hygrothermique

Les travaux réclament une gestion fine de l'humidité et de la ventilation pour assurer confort, qualité de l'air intérieur et pérennité du bâti. Sur le plan énergétique, il s'agit d'optimiser les besoins en valorisant les propriétés du pisé de mâchefer et en traitant l'étanchéité à l'air* de l'enveloppe.

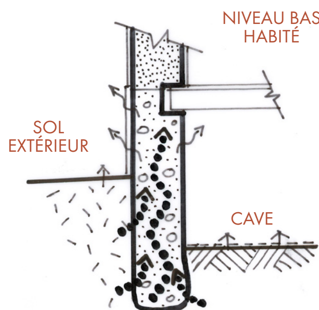
Bon à savoir

Les remontées capillaires

Une manifestation modérée de capillarité* est un phénomène normal dans un mur ancien à condition que l'humidité puisse s'évacuer par évaporation. Les désordres proviennent souvent de dispositions incompatibles comme :

- → un enduit* extérieur non perspirant (ciment), un matériau étanche à la vapeur d'eau (isolant, peinture filmogène, RPE*) ;
- → un doublage intérieur inadapté (papier peint vinylique, toile de verre) ;
- → un sol de cave étanche ;
- → un sol extérieur peu drainant ou un nivellement à contre-pente.

Schématisation du phénomène de remontée capillaire à l'intérieur d'un mur



L'eau présente dans le sol remonte, migre à l'intérieur du matériau puis s'évapore au contact de l'air à la surface des parois (intérieure/extérieure) et des sols (intérieur/extérieur).

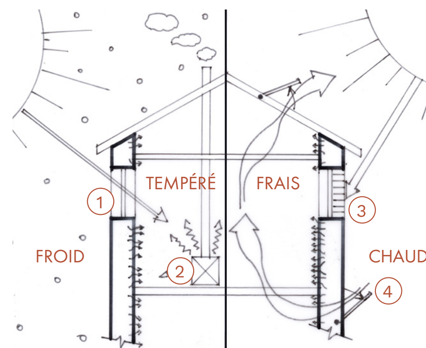


L'inertie thermique

L'inertie* est le grand atout des murs massifs en maçonnerie lourde. Elle favorise le confort thermique de l'habitat et contribue à réduire les besoins en chauffage et en climatisation.

Si les pisés de mâchefer font état de valeurs peu élevées en matière de masses volumiques par comparaison avec d'autres matériaux comme la pierre ou le béton, et d'une capacité thermique volumique faible, l'épaisseur des murs en mâchefer banché (40 à 50 cm), compense en partie l'effet de ces caractéristiques. La qualité inertielle de la paroi s'avère ainsi équivalente voire supérieure à celle d'un voile de béton armé.

Schématisation du phénomène de déphasage thermique* lié à l'inertie du matériau



1. Apports solaires
2. Chauffage
3. Protection solaire
4. Free-cooling

En hiver, une forte inertie permet d'emmagasiner la chaleur des apports solaires de la journée puis de la restituer plus tard lorsque la température extérieure commence à chuter. En été, une forte inertie associée à une sur-ventilation nocturne ("free-cooling") permet d'atténuer les pics de chaleur.

Altération des épidermes sacrificiels sur un pied de façade d'immeuble du Groupe HBM Lavoisier © G. Cluzel

Principales sources de déperdition thermiques

Plusieurs études menées au début des années 2010[1] ont montré que les principales déperditions thermiques dans le bâti ancien d'avant 1948 s'opéraient principalement par le toit, les défauts d'étanchéité à l'air* de l'enveloppe et le plancher bas sur cave.

Les murs en revanche, en raison de leur inertie (murs massifs et épais) qui joue un « rôle tampon » et limite les pertes globales, s'avèrent moins concernés à condition qu'ils soient étanches à l'air.

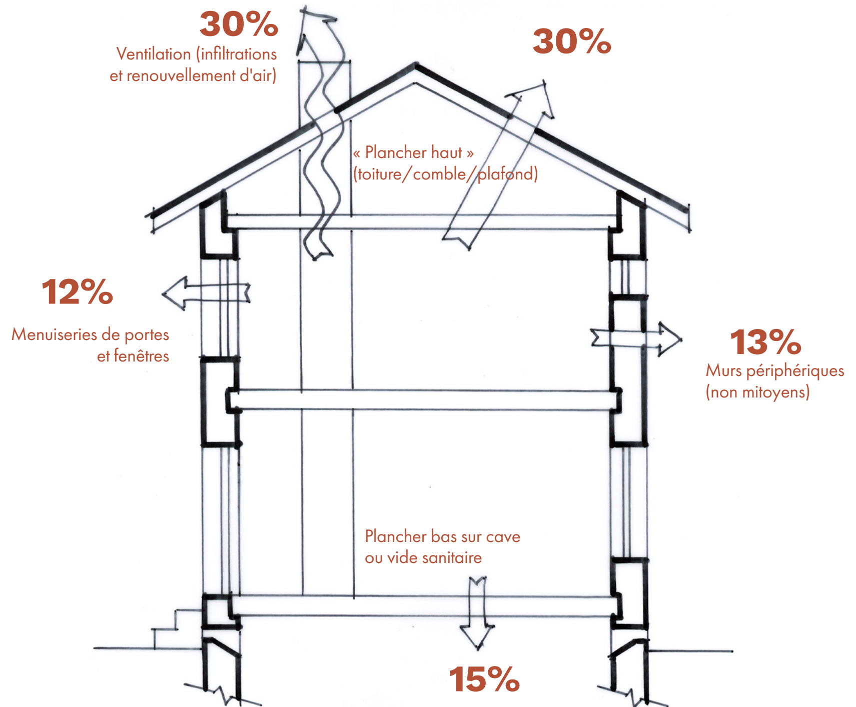
Les ponts thermiques sont peu significatifs dans le bâti ancien en raison de l'épaisseur importante des murs, d'un régime hygrothermique lent, de l'absence de différentiel thermique brutal entre les façades et les autres parois (sol, plafond, planchers) et se font jour lors de l'adjonction d'une isolation intérieure.

Ainsi, si les menuiseries de portes et fenêtres constituent assurément des postes à considérer, l'isolation des murs représente une piste moins évidente et ne saurait être pratiquée qu'avec l'assurance de traitements non perturbants pour leurs propriétés d'inertie et de perspirance*.

Quant à l'effet de paroi froide* générée par les murs en hiver, il peut facilement être corrigé par l'application d'enduits correcteurs thermiques intérieurs.

1 → Étude BATAN (CREBA-ADEME/2011)
→ Étude HYGROBA (CREBA-CEREMA-ADEME/2013)
→ Étude ATHEBA (Ministère de l'Écologie, Ministère de la Culture, Fondation du Patrimoine, Maisons Paysannes de France, CEREMA Est / 2010)

Répartition des pertes thermiques moyennes dans le bâti ancien



D'après la Fiche ATHEBA – Maisons Paysannes de France, Ministère de l'Écologie, Ministère de la Culture, Cete Est, Fondation du Patrimoine, 2010

Bon à savoir

Limites des méthodes d'évaluation énergétique

Le bâti ancien est souvent perçu comme « passoire thermique » et beaucoup de bâtiments font état d'étiquettes énergétiques très dégradées.

Mais ces estimations réglementaires, basées sur des modèles de calculs statiques, tendent à surestimer la consommation réelle car celles-ci ignorent le comportement hygrothermique dynamique inhérent au bâti ancien : phénomènes inertiels*, propriétés thermo-physiques hétérogènes des systèmes constructifs, caractère anisotrope* du matériau constitutif des parois, présence de vides d'air à l'intérieur de ces dernières, sensibilité à l'eau, variabilité des propriétés selon les contextes, influence de l'écosystème environnant et des facteurs locaux (implantation, mitoyenneté, orientation, exposition au soleil et au vent).

Les DPE*, qui utilisent des modèles de calculs thermiques très simplifiés, ignorent ces facteurs et s'avèrent donc peu fiables pour évaluer la réelle performance du bâti ancien.

Une simulation thermo-dynamique (STD) permet de calibrer plus finement les consommations prévisionnelles et d'intégrer des considérations importantes liées au confort d'été.

Connaitre avant d'agir

L'importance du diagnostic

La réussite d'une réhabilitation repose sur un diagnostic complet qui éclaire la valeur architecturale du bien, les choix à opérer en fonction de la nature des matériaux présents et de la capacité du bâti à assurer ses fonctions structurelles et de régulation thermique. Cette investigation, menée le plus en amont possible, doit être spécifique au bâtiment considéré.



Le volet patrimonial

La valeur architecturale du bâtiment doit être posée très tôt. En effet, certaines interventions comme les extensions, la création d'ouvertures ou l'isolation thermique par l'extérieur sont susceptibles d'entrainer un changement d'aspect significatif du bâtiment potentiellement problématique.

Pour certains bâtiments d'intérêt majeur, l'existence d'un diagnostic patrimonial, complet et étayé, constituera une base précieuse et nécessaire dans le cadre des échanges avec les services en charge de l'instruction des demandes d'autorisation d'urbanisme.



Place J. Macé à Lyon 7, chantier de reconstruction (v. 1951), L'Avenir. L'entreprise coopérative



Le volet technique

Le volet technique comprend le relevé détaillé du bâtiment (en plans et coupes), l'analyse de l'état de conservation des ouvrages, et le recensement des différentes transformations subies par la construction au fil des ans.

Ce travail peut également tirer avantage du recueil de documents d'archives: plans, cartes postales anciennes, descriptifs, publications.

Il peut comporter d'autres investigations à même d'identifier la nature des supports (sondages destructifs, scan-structure), d'apprécier l'état de dégradation du second-œuvre, d'identifier des pathologies (humidité, fissures), d'évaluer l'état des équipements (chauffage, ventilation), de repérer la présence de matières nocives (amiante, plomb, métaux lourds).



Sondage destructif réalisé sur un immeuble HBM à Caluire-et-Cuire (69) au cours des études préalables au chantier, donnant à voir le pisé de mâchefer à nu, le nez de dalle et le linteau de baie en ciment armé avec son ferraillage, © J. Sordoillet



Le volet hygro-thermique

Ce volet a pour but de produire des projections en termes de scénarios d'amélioration énergétique et de programmer les travaux afférents. Les hypothèses sont à élaborer sur la base d'une connaissance fine du bâtiment pour laquelle l'évaluation de la consommation d'énergie existante et future est capitale.

Ces données permettront de produire une modélisation thermique du bâtiment et d'évaluer sous forme d'hypothèses l'efficience des différents postes de travaux envisagés : isolation des combles, remplacement des menuiseries, installation d'une ventilation mécanique, isolation thermique des murs, etc.



Thermographie réalisée sur une maison individuelle de type « Castor » à Lyon 5 © Cerema pour le CAUE Rhône Métropole

Points d'attention et recommandations pratiques

Se faire accompagner pour circonscrire la faisabilité du projet

→ Choisir le(s) professionnel(s) en fonction du projet à mener. La nature du bâtiment (habitat individuel/collectif, logement social/copropriété…), le contexte patrimonial, les problématiques identifiées (pathologies, déperditions thermiques, entretien de façade), et les besoins du maître d'ouvrage (restructuration, agrandissement…) conditionnent le choix du prestataire : architecte, maitre d'œuvre, bureau d'études thermiques… ;

→ confier si possible la réalisation des différents volets du diagnostic à un même prestataire.

À défaut, une mission de synthèse confiée au maitre d'œuvre s'avèrera nécessaire.

Prendre contact en amont avec le service instructeur

→ Initier un dialogue entre le porteur de projet, sa maîtrise d'œuvre et le service chargé de la délivrance des autorisations d'urbanisme, dès les premières esquisses, notamment lorsque la sensibilité patrimoniale du bâtiment est pressentie.

Cela permet de faciliter, *in fine*, le bon déroulement de la procédure administrative.

Pour certains projets-clés, la Mairie peut organiser des commissions préalables d'architecte-conseil.

Ajuster la mission selon l'accompagnement souhaité

→ Études préliminaires (programmation) et scenarios préchiffrés ;

→ avant-projet définitif et demande d'autorisation d'urbanisme ;

→ étude de projet et estimation chiffrée des travaux ;

→ consultation et aide au choix des entreprises ; suivi de chantier et assistance à la réception des travaux.

Privilégier une mission complète dans les contextes de forte complexité technique, patrimoniale et réglementaire.

Cela permet d'assurer la continuité de la responsabilité, la cohérence globale du projet, l'intégration du diagnostic, la gestion des risques techniques, les adaptations en phase chantier, la maitrise des coûts et l'optimisation des délais.

Bon à savoir

Coût global

Le montant d'une opération comprend le coût des prestations intellectuelles, le coût des travaux, les frais annexes et une provision pour aléas.

Pour les projets de rénovation energétique, il peut être utile de faire réaliser une approche estimative en coût global intégrant le coût de l'énergie (montant des charges de consommations énergétiques, coûts d'entretien et de maintenance, frais de remplacement des équipements en fin de vie), la recherche de subventions et la revalorisation de la valeur vénale du bien.

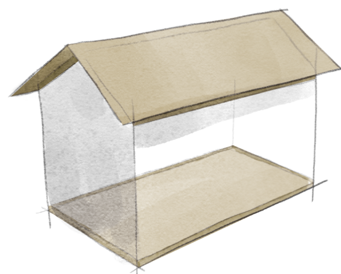
Demande d'autorisation d'urbanisme

Une déclaration préalable (DP) est obligatoire pour les travaux modifiant l'aspect extérieur d'une construction existante (ravalement de façade, remplacement de fenêtre, réfection de toiture, modification de la couleur de volets, etc.) tandis qu'un permis de construire (PC) sera nécessaire pour certaines réhabilitations occasionnant des travaux lourds, créant une surface importante ou modifiant de façon significative le volume ou la structure (extension ou surélévation).

Recours à l'architecte

Le recours à un architecte est obligatoire pour les travaux nécessitant un permis de construire lorsque la surface de plancher dépasse 150 m². Pour une personne morale (SCI, entreprise, etc.), l'architecte est requis dès lors qu'un permis de construire est nécessaire, quelle que soit la surface.

Parmi les acteurs de la construction, l'architecte est le seul soumis à des obligations d'assurance aussi larges : inscrit à l'Ordre des architectes, il est couvert pour ses engagements professionnels, les dommages causés à des tiers, ainsi que pour les désordres ou malfaçons dont il pourrait être tenu responsable.



Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Isoler la toiture et le plancher bas

Une part significative des déperditions thermiques du bâtiment peut être traitée facilement, avec un très bon rapport coût de travaux/gain énergétique et un impact limité sur l'architecture, en isolant la toiture (plancher haut) et le plancher du rez-de chaussée (plancher bas).

Pathologies ou anomalies fréquentes

Couverture, Zinguerie

- Dégradation de la couverture
- Infiltration / Défaut d'étanchéité (tuiles endommagées ou poreuses, abergements* endommagés)
- Vétusté des évacuations d'eaux pluviales (chéneaux, gouttières, descentes, dauphins)
- Altération des cheminées
- Altération des rives de toiture

Anciens isolants

- Détérioration des isolants en place

Ouvertures

- Apports solaires zénitaux non maitrisés

Plancher bas

- Mauvais état structurel (planchers sur cave)
- Vétusté du sol

Plancher haut : l'attention au confort d'été

L'isolation thermique du toit est bénéfique en hiver, pour limiter les déperditions de calories, mais aussi en saison estivale pour protéger le logement des pics de chaleur, auxquels la couverture du bâtiment est particulièrement exposée.

Le choix de l'isolant est alors crucial pour répondre à ce double objectif.

Il s'agit d'opter pour des isolants à très forte densité (masse volumique >250 kg/m³), comme la laine de bois, le liège expansé, voire la ouate de cellulose ou laine de chanvre/lin afin de retarder la propagation de l'onde de chaleur dans le complexe de toiture.

Plancher bas : l'examen technique

L'isolation du plancher bas, qu'il soit en contact avec une cave ou un vide sanitaire nécessite une évaluation fine des conditions hygrothermiques (remontées capillaires, humidité résiduelle), des caractéristiques techniques (nature du plancher : bois, voûtains, poutrelles-hourdis...), de sa portance (surcharge admissible) et des possibilités d'accès.
Le choix de la solution d'isolation dépend également de l'état du plancher, des interventions antérieures, des finitions existantes et des hauteurs utiles en rez-de-chaussée et en sous-sol.

Bon à savoir

Les modes d'isolation

En combles perdus

Il s'agit de procéder à une isolation renforcée du plancher des combles en disposant un matelas isolant sur le plancher des combles.
ex : Ouate de Cellulose ou Chènevotte en vrac

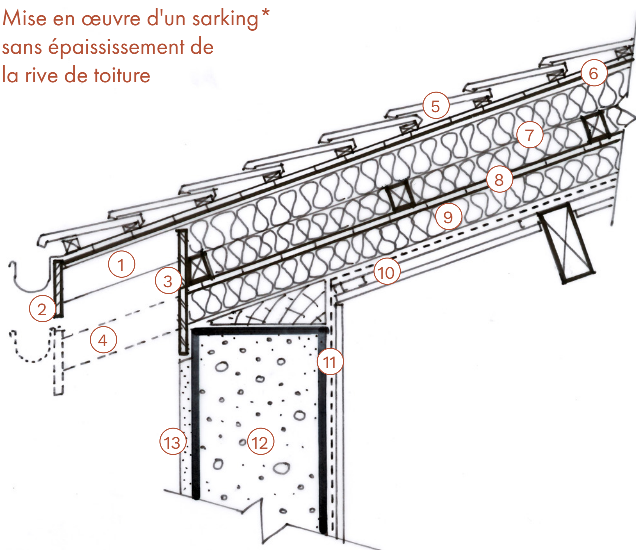
Sous rampants de toiture

L'isolant s'applique en sous face de toiture. Ce système permet d'intégrer les combles dans l'espace habité, mais est peu favorable au confort d'été.
ex : Laine de bois haute densité

En sarking*

Ne recourir à cette technique que lorsque les combles sont déjà habités et salubres, que la couverture est vétuste et sous réserve de dispositions techniques et architecturales permettant de recomposer les rives de toit à l'identique (Cf. Ill. pp.15).
ex : Laine de bois et fibre de bois

Mise en œuvre d'un sarking*
sans épaississement de
la rive de toiture



Forjet
1. Faux-chevron en débord
2. Planche de rive
3. Panneau armé support d'enduit mince
4. Chevrons existants sciés au nu du mur

Toiture
5. Tuilage, litelage et voligeage
6. Écran de sous-toiture (Pare-pluie)
7. Sur-isolation thermique rapportée
8. Voligeage existant
9. Isolation thermique entre chevronnage existant
10. Habillage du plafond (Pare-vapeur* continu, contre-lattage, panneau bois ou plaque de plâtre)

Paroi extérieure
11. Retour du pare-vapeur* sous parement intérieur
12. Mur de façade en mâchefer
13. Enduit de façade


Sur- isolation en sarking* avec en fibre de bois dense © Airial


Faux-chevrons en débord de toiture © Cerema

Points d'attention et recommandations pratiques

Toiture
Conception

Contrôler la répartition homogène des matières isolantes existantes sur la surface du plancher des combles ou du rampant de toit, ainsi que leur état (ex. fibres affaissées ou dégradées par d'anciens dégâts des eaux).
Privilégier la substitution plutôt que l'addition de nouveaux produits isolants.

Éviter de créer des ouvertures en toitures : les baies zénithales sont sources d'apports solaires extrêmement néfastes en saison chaude.

Conserver les conduits et souches de cheminées dans les immeubles collectifs notamment. Leur suppression, lors d'une réfection de toiture n'est pas un acte anodin car elle condamne la possibilité d'éventuels travaux ultérieurs sur la ventilation (Cf. pp.20). Le rôle de ces ouvrages dans la résilience future de l'habitat est capital.

Privilégier le maintien de combles perdus (= non habités) pour conserver le bénéfice du tampon thermique en hiver contre le froid et en été contre le chaud.

Soigner les principaux points de vigilance patrimoniale : forme du toit, choix de la tuile, traitement des rives de toiture et des évacuations. En cas de sarking*, toute surépaisseur au niveau de la rive et de l'égout doit être compensée par une élévation de la paroi. Seule l'épaisseur des chevrons doit apparaitre sous la passée de toit (Cf. Schéma ci-contre).

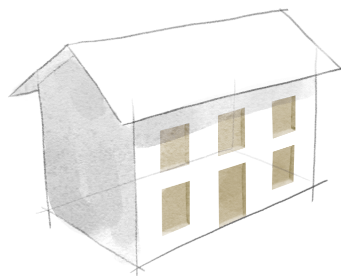
Produits, matériaux et mise en œuvre

Privilégier le zinc lors du remplacement des descentes EP*, gouttières et chéneaux.

Opter pour la tuile de terre cuite lors du remplacement de la couverture (ex. Tuiles plates losangées rouges ou "rouges viellies") et des rives de toiture en bois (ex. volige peinte ou zinguée).

Plancher bas
Conception

Privilégier une isolation renforcée en sous-face de plancher bas, notamment si la hauteur utile autorise des épaisseurs importantes (ex. Ouate de Cellulose projetée ou insufflée derrière un plafond).



Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

S'assurer de la qualité des menuiseries de portes et fenêtres

Les menuiseries, par leur dessin et leur matériau, participent à l'identité architecturale de la façade. Des menuiseries défectueuses peuvent engendrer des déperditions thermiques significatives, occasionner des effets de paroi froide*, des infiltrations d'air parasites, et une dégradation du confort des occupants.

Pathologies ou anomalies fréquentes

- Défaut d'étanchéité, infiltrations
- Ouvrages altérés (pièces de bois vermoulues, peintures écaillées)
- Présence de peintures au plomb ou de peintures inadaptées au support bois
- Hétérogénéité des menuiseries sur la façade (formes, formats, matériaux)
- Présence de matériaux inadaptés (ex. PVC)
- Présence d'impostes pleines suite à modification de l'agencement intérieur
- Anciennes baies modifiées (murées, réhaussées, surbaissées, étroitisées)



1



2

Bon à savoir

Les types de pose

On distingue deux méthodes pour le changement de menuiseries selon que l'ancien dormant* est conservé ou entièrement déposé. Elles conditionnent le niveau de performance à terme.

Pose en rénovation

Posés en rénovation, c'est à dire avec conservation de l'ancien dormant, les performances thermiques et phoniques des châssis sont insatisfaisantes à moyen terme en raison des phénomènes de dilatations différentielles entre matériaux (chêne/pin, chêne/aluminium ou chêne/PVC), d'autant plus si le cadre d'origine a été peu entretenu.

À cela s'ajoutent des apports lumineux amoindris par la réduction du clair de vitrage. Ce mode de pose est à éviter.

Pose avec dépose totale

L'ensemble de l'ancienne menuiserie, y compris le dormant est déposé jusqu'à la maçonnerie brute. Ce type de pose permet de garantir l'étanchéité à l'air (moyennant précautions – Cf. p.17), à l'eau, au vent et au bruit et d'optimiser la surface de clair de vitrage.

Il implique des travaux de finition plus conséquents : reprise des tableaux intérieurs, réenduisage, habillage ou peinture.

1 Modénature d'entrée en pied d'immeuble collectif à Lyon 7
2 Menuiseries de porte et fenêtres sur une façade de maison à Lyon 5


Menuiserie ouvragée sur une maison de ville à Bron

Points d'attention et recommandations pratiques

Conception

Rester fidèle à la forme et au dessin des menuiseries (proportions et divisions) en restituant les dispositions d'origine : doubles, triples ou quadruples vantaux, petits bois, protection des bas de porte en laiton, etc.

Déplacer la menuiserie nouvelle dans le tableau de baie* en cas d'ITE (coupure du pont thermique, restitution du facteur de lumière du jour, des capacités d'apports solaires) (Cf. Schéma ci-contre).

Produits, matériaux et mise en œuvre

Veiller à prévoir le remplacement en dépose totale (Cf. p.16).

Préférer le bois massif pour des raisons de cohérence avec l'époque constructive de l'habitat en mâchefer et des raisons techniques car il permet d'assurer une pose ajustée sur chantier dans des baies qui manquent parfois de rectitude.

Opter pour des menuiseries issues de fabricants locaux qualifiés et expérimentés et veiller à la qualité des assemblages et des quincailleries.

Opter pour un double vitrage à isolation renforcée voire un triple vitrage argon en façade Nord.

Traiter soigneusement les raccords et points de liaisons afin d'assurer une étanchéité à l'air et à l'eau parfaite des menuiseries neuves : emploi de fond de joint et mastics élastomères pour un parfait calfeutrement (ex. joint mousse polyuréthane précomprimées imprégné de résine synthétique type « compribande »), en veillant à assainir le support au préalable, y compris, si nécessaire, en reprenant la feuillure maçonnée.

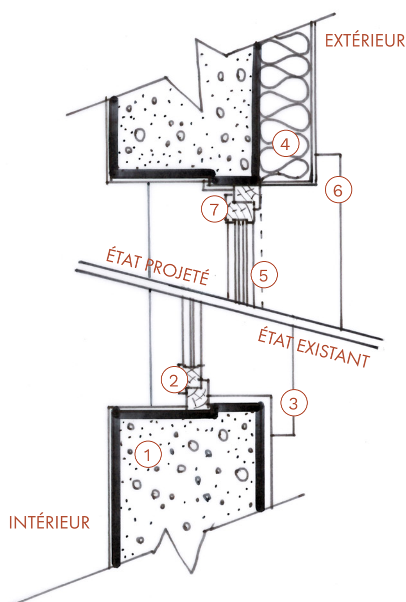
Prévoir un contrôle soigné des étanchéités pour les menuiseries conservées (calfeutrement).

Prévoir la mise en place de réglettes de ventilations dans les menuiseries des pièces sèches en cas de VMC* (Cf. p. 20).

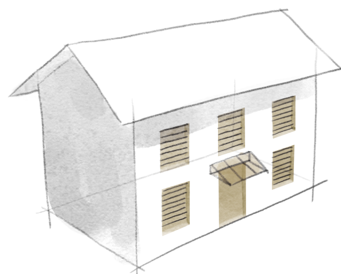
Conserver les portes d'entrée en chêne massif ou remplacer les portes d'origine par des portes en acier en arrière des dormants* existants conservés, et les habiller avec le panneau ouvrant en bois massif déposé, poncé, vernis et réemployé in situ.

Prévoir un décapage des peintures sur les portes conservées, et un recouvrement par vernis ou lasure (prescriptions particulières à prendre en compte en cas de présence de plomb).

Remplacement d'une menuiserie à l'occasion de l'isolation thermique de la façade – Coupe horizontale



1. Mur de façade en mâchefer
2. Menuiserie existante à déposer
3. Appui de baie existant
4. Isolation thermique par l'extérieur
5. Découpe de l'appui maçonné existant
6. Appui de baie rapporté



Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Maintenir les occultations et soigner les équipements de façade

Garde-corps, lambrequins, forjets de toiture, zinguerie, marquises... un projet de rénovation ne se limite pas à un traitement des murs mais intègre la restauration ou le renouvellement de tous les équipements et accessoires qui habillent la façade.

Pathologies ou anomalies fréquentes

- Persiennes non entretenues (affaissées, corrodées ou déformées)
- Volets battants en bois vermoulu
- Peintures écaillées
- Présence de peintures au plomb
- Hétérogénéité des dispositifs en façade (persiennes, volets battants, stores...)
- Présence de volets roulants
- Éclatement des scellements des éléments de serrurerie
- Absence ou défauts de solidité des garde-corps
- Corrosion des éléments de serrurerie
- Présence de réseaux apparents obsolètes en façade (Câbles ERDF/ENEDIS, Télécom, TNT/Satellite, Éclairage)
- Mauvaise qualité du matériau de devanture commerciale et des habillages (manque de robustesse, appauvrissement de la qualité architecturale)
- Mauvais placement de l'enseigne commerciale

La recherche d'unité

L'unité des dispositifs d'occultation constitue un élément essentiel de la cohérence esthétique de la façade.
Il convient donc d'identifier et de traiter les éléments manquants, hétérogènes ou dégradés, afin de rétablir l'homogénéité d'ensemble en privilégiant un retour aux dispositions d'origine.

Lumière, vue et ensoleillement

Les occultations participent directement au confort thermique et visuel du logement. Leur absence compromet la protection contre le rayonnement solaire et la surchauffe en été mais également l'obscurcissement des pièces de nuit.

À noter que le volet roulant, qui est en général un dispositif anachronique sur le bâti en mâchefer, est inadapté à la gestion du confort d'été car il ne permet pas de découpler apports lumineux et apports solaires.

Bon à savoir

Les modes d'occultations

Les persiennes métalliques

La construction en mâchefer coïncide dans la région lyonnaise avec l'apparition des persiennes. Ces dispositifs robustes et fonctionnels permettent de moduler l'ensoleillement et la clarté intérieure. Les modèles à projection offrent un bon compromis entre confort d'été (ombrage, ventilation nocturne) et confort lumineux (régulation de l'éclairement naturel) et sont performants comme protection contre l'intrusion.

Les brises-soleil orientables

Les "BSO" offrent une protection solaire extérieure efficace. Les modèles à lames C80 en aluminium laqué sur câbles tendus avec lambrequin s'intègrent discrètement. Leur légère dissonance dans une architecture XX[e] est généralement tolérée. Ils assurent un confort visuel accru par la modulation de la lumière, de la vue extérieure et du vis-à-vis.

Les volets battants (contrevents)

Au cas par cas, selon les contextes, des volets battants peuvent être pertinents. De préférence en bois peint ; en aluminium laqué mat possiblement pour limiter l'entretien.

1 Persiennes sur un immeuble d'HBM à Lyon 9
2 Persiennes à projection sur un immeuble collectif à Lyon 3
3 Contrevents en bois sur un habitat individuel à Vaulx-en-Velin (69)
4 Brise-soleil orientable et lambrequin sur un immeuble HBM à Lyon 4, © G. Cluzel
5 Marquise au-dessus d'une porte d'entrée et jardinière de façade à Lyon 5
6 Balcon sur une résidence sociale à Lyon 4
7 Marquise ornementale de style Art Nouveau au pied d'un immeuble à Lyon 9

Points d'attention et recommandations pratiques

Conception

Opter pour des occultations et un mobilier de façade cohérent avec la typologie du bâti traité (gardes-corps en serrurerie peinte, lambrequins en tôle laquée, marquises en acier peint et verre, etc.).

Systématiser les protections solaires mobiles extérieures en particulier sur les façades sud, ouest et est.
Attention, les façades nord-est, nord-ouest sont aussi concernées par l'incidence solaire en été.

Établir un cahier des charges commun pour régir le moment venu les interventions ultérieures sur le bâti (description de modèles de référence).

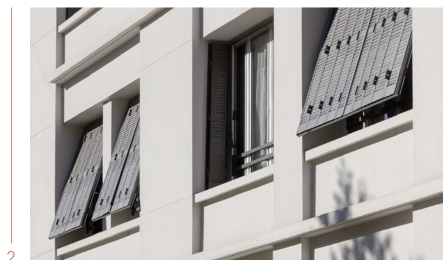
Produits, matériaux et mise en œuvre

Opter pour la conservation des persiennes métalliques après révision complète (décapage en bain et thermolaquage ou traitement sur site par recouvrement anticorrosif, réglage et graissage).
À noter que le parti pris de leur conservation peut être problématique en cas d'ITE car il prive l'enveloppe d'une isolation thermique des tableaux* de baies. Dans ce cas, les remplacer à la bonne côte par des produits similaires.

Remplacer les éléments de mobilier manquants, endommagés ou inappropriés afin de restituer la cohérence globale de la façade.

Rependre les scellements des éléments de serrurerie existants conservés (garde-corps, lambrequins, éléments séparatifs) et traiter les serrureries par application d'une peinture de finition.


1


2


3

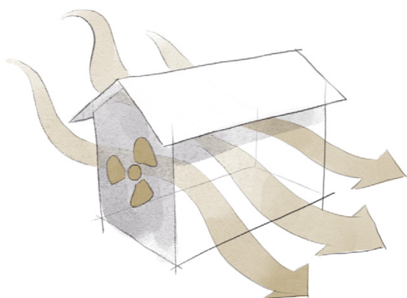

4


5


6



7



Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Assurer une ventilation satisfaisante

La ventilation constitue un point d'attention majeur lors de la réhabilitation des ouvrages en mâchefer. Elle doit être prise en compte dès lors que le logement fait l'objet de travaux d'isolation, d'étanchéité à l'air* ou de restructuration (aménagement des caves, recloisonnements…).

Pathologies ou anomalies fréquentes

- Excès d'humidité relative dans l'air intérieur (inconfort - sensations de moiteur estivale lorsque le taux d'humidité est élevé)
- Inconfort lié à des sensations de courant d'air en hiver
- Renouvellement d'air hygiénique insuffisant
- Traces d'humidité sur les parois (champignons, salpêtre)
- Phénomènes de condensation sur les vitrages de fenêtres
- Éffritement ou fissuration des enduits extérieurs
- Érosion des murs
- Décollement des peintures
- Microfissuration des parements intérieurs
- Pourrissement des têtes de solives en bois (difficile à déceler)

Des stratégies croisées pour un habitat sain, confortable et performant

Une ventilation minimale est nécessaire pour évacuer la vapeur d'eau produite (respiration et sudation, cuisson, douches, etc.), favoriser le confort thermique et pallier les risques de pathologie du bâti liés à l'humidité.

Un débit minimal de renouvellement hygiénique est par ailleurs nécessaire pour garantir la qualité de l'air intérieur et éliminer les polluants.

Les dépérditions thermiques engendrées en période de chauffe et les sensations de courant d'air peuvent être maitrisées en régulant les débits par tirage assisté voire contrôlé et en agissant sur l'amélioration de l'étanchéité à l'air* de l'enveloppe (liaisons murs/fenêtres, murs/toit, etc.).

Enfin, des ouvrants sur façades opposées rendent possible en été une aération traversante permettant un rafraîchissement passif nocturne.



Travaux de création de trémies pour passages de gaines techniques dans un immeuble, Cité HBM Dauphiné-Lacassagne à Lyon 3
© G. Cluzel

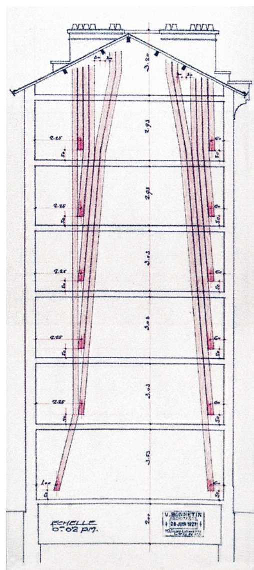
Bon à savoir

Les types de ventilation

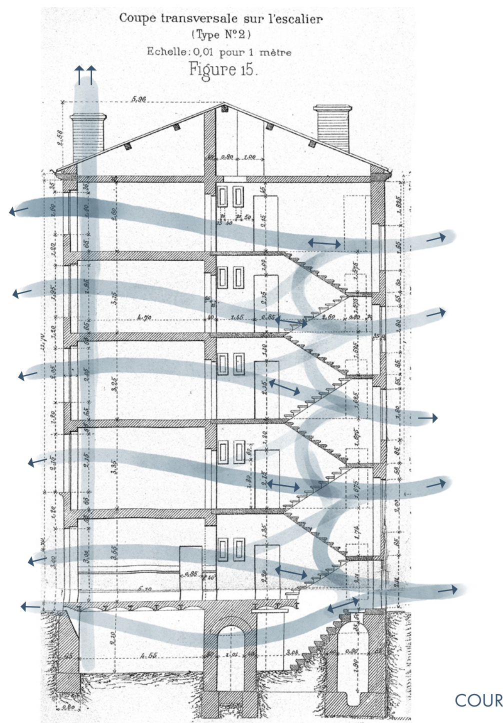
La ventilation naturelle (VN)
Elle fonctionne grâce à la différence de pression entre l'air intérieur et extérieur, aux effets de vent ou au tirage thermique via des grilles ou des ouvrants. Économique car sans consommation d'énergie, elle reste néanmoins très dépendante des conditions météorologiques. Elle présente des risques de condensation en été et de perte de chaleur en hiver.

La ventilation naturelle assistée (VNA)
Elle combine ventilation naturelle et ventilateur pour améliorer le tirage thermique. Ce dispositif hybride et intermittent est moins énergivore qu'un système mécanique et reste fonctionnel même en cas de panne.

La ventilation mécanique contrôlée (VMC)
Un tirage contrôlé mécanique, assuré par un moteur, permet de garantir une juste ventilation du logement, sans gaspiller de calories. Plus efficace qu'une ventilation naturelle, la VMC assure un renouvellement d'air hygiénique optimal.



Élévation des gaines, dans un immeuble du Groupe HBM Lavoisier à Lyon 3, Extraits de la revue *Le Logement populaire à Lyon et sa région 1890-1940*, t.2 Bulletin n°23 de la Société Académique d'Architecture de Lyon (2017)



Principe de ventilation naturelle traversante entre la cour et la rue vu en coupe à l'échelle d'un immeuble collectif type Mangini (n°2). Le principe du demi palier dans la cage d'escalier ajoute une composante verticale favorable au tirage thermique.

Points d'attention et recommandations pratiques

Conception

 Mécaniser les ventilations naturelles par l'installation d'une ventilation centralisée active (hybride ou mécanique de type Hygro B) en veillant à prévoir la pose d'entrées d'air dans les huisseries de fenêtres des pièces sèches (éviter les carrotages dans la maçonnerie de mâchefer).

 Intégrer en amont la notion de confort d'été dans les réflexions pour éviter le recours à l'installation de dispositifs de rafraichissement actifs (climatiseurs) particulièrement énergivores et contre-productifs en termes de lutte contre les ilots de chaleurs urbains.

Pour ce faire, veiller à conserver à l'habitat son organisation traversante notamment lors de travaux de restructuration intérieure ou de divisions en appartements.

 Maintenir les capacités d'aération des caves ou vides sanitaires par les larmiers ménagés en pied de façades (Cf. schéma p.26).

 L'application sur les murs en mâchefer d'enduits intérieurs à la chaux ou à base d'argile, outre leur bon facteur de diffusion à la vapeur d'eau, sont également des matériaux hygroscopiques aux propriétés régulatrices de l'humidité environnante contenue dans l'air ambiant.

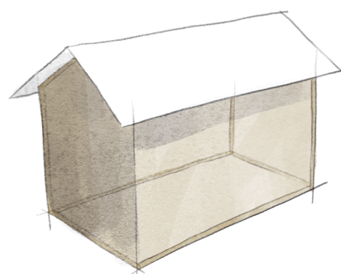
 N'envisager le recours à la ventilation double flux que si l'étanchéité à l'air de l'enveloppe bâtie est soigneusement traitée ($< 1,5\ m^3/h/m^2$).

 En cas de recours à la VNA, la distance entre pièces humides et colonne doit être la plus faible possible au risque d'une perte de charge importante impactant les débits de renouvellement d'air.

Produits, matériaux et mise en œuvre

 Maîtriser l'impact des appareillages techniques d'extraction en toiture et/ou en façade :

- en chemisant d'anciennes gaines désaffectées (cheminées, conduits shunts, vide-ordures) ;
- en installant une nouvelle colonne d'extraction à l'intérieur de l'enveloppe bâtie (avec réalisation de trémies dans les planchers) ou par la pose discrète d'un conduit extérieur (ex. incorporé en tout ou partie dans l'épaisseur offerte par une éventuelle ITE) ;
- en exploitant les espaces sous combles pour faire cheminer les gaines, ou en les dissimulant derrière des faux-plafonds ou des soffites*.



Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Intervenir sur les murs de façade

Embellissement, préservation, salubrité, les interventions sur les murs répondent à des enjeux multiples. En termes d'amélioration thermique, les murs de façades dans le bâti ancien peuvent apparaître comme des leviers d'action complémentaires une fois tous les autres postes de déperditions traités – toiture, plancher bas, menuiseries, ventilation – (Cf. p.11).

Pathologies ou anomalies fréquentes

- Fissures structurelles
- Altération des appuis de baies (en ciment prompt ou en béton)
- Altération des décors portés en ciment naturel (encadrements de baies, faux-chainages d'angle, cordons, corniches, etc.)
- Altération des enduits* recouvrant le mâchefer (faïencés, fissurés, décollés ou lacunaires)
- Pénétration d'eau pluviale dans les murs de façade (en cas d'enduit absent ou lacunaire)
- Remontées capillaires dans le mur
- Éclats d'enrobage de linteaux métalliques

Le front visible du projet

Les ravalements des façades en pisé de mâchefer, qu'ils soient traditionnels ou à visée d'amélioration thermique, requièrent une bonne connaissance technique afin de prévenir tout risque de désordres sur le bâti. Compte tenu de l'impact significatif de cette intervention sur l'intégrité esthétique et patrimoniale du bâtiment, il est impératif d'évaluer préalablement les solutions envisageables en fonction de la valeur architecturale de l'ouvrage, comme le montre le logigramme page 24-25.

Bon à savoir

Couleur des bâtiments en mâchefer

Les façades à l'époque des débuts de l'utilisation du mâchefer dans la construction étaient teintées par les sables utilisés dans les mortiers d'enduit (gris colorés chauds tirant sur le beige).
Seuls les décors (frises, encadrements, cordons…) pouvaient être de teintes blanches ou colorées.
Les tons blancs sont propres aux constructions plus tardives ou d'inspiration moderniste.


1


2


3

Points d'attention et recommandations pratiques

Conception

Porter attention aux modénatures (décors, moulures, bandeaux, frises, encadrements, etc.) lors de l'évaluation des travaux. Pour un projet d'isolation extérieure, leur restitution peut être nécessaire pour préserver les caractéristiques architecturales du bâti (Cf. p.32).

Produits, matériaux et mise en œuvre

Veiller à la compatibilité des produits appliqués. Malgré leur apparente proximité avec les édifices en béton de la seconde moitié du XX[e] siècle, les constructions en mâchefer n'ont pas le même comportement hygrothermique (Cf. p.10).

1 Façade après réhabilitation thermique d'un immeuble d'habitat collectif de la Cité ouvrière Tase à Vaulx-en-Velin (69) classée en Périmètre d'Intérêt Patrimonial au PLU-H (1926)

2 Détail de façade après ravalement du premier immeuble en béton à Lyon 9, inscrit à l'inventaire des monuments historiques (1911)

3 Détail façade d'un immeuble de la Cité d'HBM des États-Unis à Lyon 8 (1934), classée en Périmètre d'Intérêt Patrimonial du PLU-H, après réhabilitation thermique. © G. Cluzel

4 et 5 Façades de l'habitat individuel groupé à Villeurbanne du lotissement Castors Les cottages « Bel Air-Les Brosses » (1930 et 1934), classé en Périmètre d'Intérêt Patrimonial au PLU-H

6 Immeuble collectif en copropriété ravalé en 2022 à Lyon 3 (1954)

4


5


6


Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Intervenir sur les murs de façade

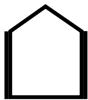
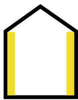
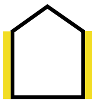
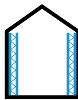
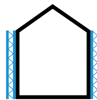
Logigramme :
Adapter l'intervention en façade à la qualité de l'ouvrage traité

VALEUR ARCHITECTURALE ET URBAINE

Appréciation issue des conclusions du diagnostic patrimonial prenant en compte le bâtiment lui-même et le bâtiment dans son contexte urbain – Cf. p.12

	QUALITÉ DE FAÇADES (1)		PRINCIPES DIRECTEURS
★★★ Remarquable	Ouvragées (ou jouxtant des façades ouvragées)		**Protection** de l'architecture d'origine
★★ Courante	Soignées ou emblématiques		**Adaptation** au cas par cas
	Typiques ou ordinaires		
★ Quelconque	Mineures ou banales		**Évolution** avec révision possible de l'architecture d'origine

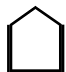
(1) À noter que les différentes façades d'un même bâtiment peuvent présenter des qualités variables (façade-avant, façade-arrière, façade-pignon)

 **Ravalement simple** Cf. p.26-27	 **Enduit correcteur thermique intérieur** Cf. p.28-29	 **Enduit correcteur thermique extérieur** Cf. p.28-29	 **Isolation thermique intérieure** Cf. p.30-31	 **Isolation thermique extérieure** Cf. p.32-35
Revalorisation avec retour aux dispositions d'origine	Faible impact sur l'architecture Sauf si décors intérieurs : boiseries, staff, etc.	Uniquement sur façades arrières et murs pignons	Faible impact sur l'architecture Sauf si décors intérieurs : boiseries, staff, etc.	Risque de dénaturation architecturale
Restauration	**Préservation**			**Altération**
Entretien architectural	Très faible impact sur l'architecture	Avec maintien des modénatures existantes (appuis, corniches, cordons, etc.)	Faible impact sur l'architecture	Avec reconstitution à l'identique des modénatures d'origine et des forjets
Préservation				**Requalification**
Entretien architectural	Très faible impact sur l'architecture	Avec maintien ou reconstitution des modénatures	Faible impact sur l'architecture	Avec reconduction ou adaptation des lignes de composition architecturale
Reconduction				**Réinterprétation**
Entretien architectural	Très faible impact sur l'architecture	Entretien, Revalorisation	Faible impact sur l'architecture	Revalorisation architecturale
Reconduction				**Réécriture**

Traitement favorable
Traitement sous condition
Traitement défavorable

Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Intervenir sur les murs de façade



Le ravalement simple

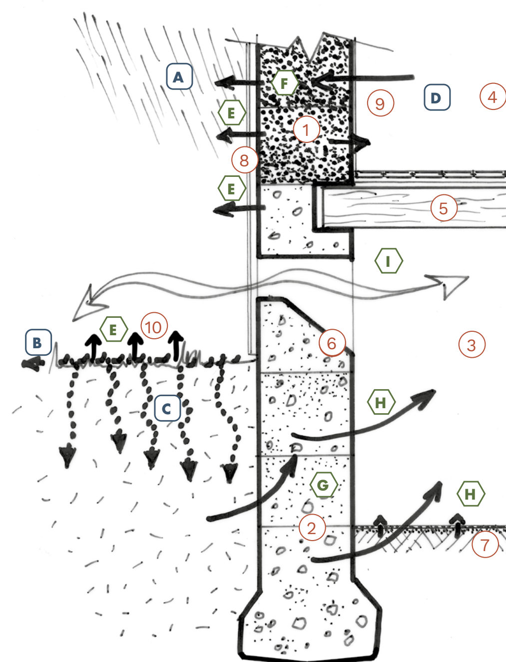
Le mur en pisé de mâchefer, par nature poreux et friable, est traditionnellement protégé par un enduit* extérieur à la chaux naturelle hydraulique et au sable ou par un enduit bâtard (chaux-ciment), plus rarement au ciment Portland.

L'attention au choix du produit

La composition du produit choisi pour le ravalement d'un mur en mâchefer conditionne la pérennité de l'ouvrage. Sa compatibilité, notamment sur le plan hygrométrique, est déterminante.

Cette exigence s'applique également aux épidermes rapportés sur une isolation thermique par l'extérieur (cf. pp. 32-35).

Implications du ravalement dans le comportement hygrométrique du mur



1. Mur de façade en maçonnerie de mâchefer banché
2. Mur de soubassement en béton de gravier banché
3. Sous-sol semi-enterré
4. Niveau de rez-de-chaussée surélevé
5. Plancher bas (têtes de solives sans contact avec la maçonnerie)
6. Larmier de cave et grille de ventilation
7. Sol perméable respirant (terre battue)
8. Mortier d'enduit* extérieur capillaire (enduit* chaux hydraulique)
9. Revêtement de paroi intérieur plus ou moins hygroscopique (enduit* au plâtre naturel)
10. Sol extérieur perméable (terrain naturel) ou, à défaut, sol étanche avec contre-pente de ruissellement pluvial

Causes d'humidité

A. Pluie battante – Humidification de la paroi
B. Ruissellement pluvial en surface
C. Infiltration gravitaire d'eau pluviale
D. Vapeur d'eau excédentaire dans l'habitat

Fonctionnement normal du bâti

E. Évaporation
F. Migration de vapeur d'eau à travers la paroi
G. Capillarité*
H. Transferts d'humidité
I. Ventilation naturelle

Bon à savoir

Les types d'enduits*

Un enduit est qualifié de minéral lorsque la chaux ou le ciment font office de liant. *A contrario*, un enduit peut être organique, s'il est composé de résines acryliques (issues du raffinage du pétrole).

Concernant les applications sur le pisé de mâchefer, seuls les produits à base de liant minéral à la chaux (RME* classés V1-W1*) ou de silicate (V1-W2*) conviennent.

Les peintures siloxane (V1-W3*), bien que perméables à la vapeur d'eau (V1), sont moins adaptées, car s'agissant d'une maçonnerie poreuse, elles restituent l'eau moins vite qu'elles ne l'absorbent.

Les RPE* (V2-W3) et les peintures filmogènes à base de résines acryliques (V2) sont à proscrire car imperméables aux migrations de vapeur d'eau.

Cas particulier des interventions sur ciment Portland

Le ciment Portland (Clinker) est un ciment artificiel. Il est fréquemment considéré comme inadapté au bâti ancien, le risque de désordres liés à l'humidité étant plus important qu'avec un enduit à la chaux beaucoup plus capillaire.

Cependant, il a pu être utilisé sur les façades en mâchefer dans les années 1930 à 1950 sans que cela ne s'avère pathologique, probablement en raison de formulations adéquates et dans la mesure où les parois intérieures n'étaient pas revêtues d'habillages isolants et/ou étanches à la vapeur d'eau.

Lorsque ce type d'enduit est encore parfaitement adhérent à la maçonnerie, une colature peut être effectuée avant d'appliquer un enduit traditionnel à la chaux et un badigeon. En revanche, si l'enduit est altéré, il est recommandé de procéder à son piquage complet avant ravalement.

Points d'attention et recommandations pratiques

Produits, matériaux et mise en œuvre

Préparation

Purger les enduits à la chaux altérés et piquer tout ou partie des enduits sur base ciment.

Décaper par lavage haute pression les peintures sur enduits conservés (cas des ciments Portland de bonne tenue et encore parfaitement adhérents) et procéder à un ratissage à la chaux naturelle.

Agrafer les fissures structurelles (sous étude d'ingénierie).

Injecter un coulis de chaux hydraulique dans les fissures sur enduit conservés.

Combler les éléments de maçonnerie lacunaires; Reprendre les appuis de baies dans leur matériau d'origine (béton, ciment naturel, pierre).

Préserver ou restituer la fonctionnalité des larmiers de cave pour assurer la ventilation traversante du sous-sol.

Application

Réaliser si nécessaire un gobetis au mortier de chaux naturelle en limitant les épaisseurs.

Réaliser un corps d'enduit à la chaux avec renforcements ponctuels (fibres végétales si possible ou treillis synthétiques) et finition identique à l'existant (brettelée, talochée, ribée...).

Appliquer une peinture à la chaux, un badigeon ou une peinture minérale, restituer les frises.

Éléments connexes

Procéder à une étanchéité résine sur les balcons béton et passiver les fers des consoles métalliques.

Traiter les linteaux métalliques par purge des enduits les recouvrant, renforcer selon l'état, procéder à une passivation générale.

Restaurer les perrons (emmarchements pierre ou béton).

Dissimuler ou retirer les éléments techniques inappropriés : PAC*, conduits, jambettes*, réseaux obsolètes.

Risques pathologiques liés à l'humidité lors d'opérations de ravalement.



Risque minimisé
– Enduit perspirant et capillaire (idéalement enduit au mortier de chaux naturelle et sable)



Risque faible à moyen
– Enduit au mortier bâtard (chaux et ciment)



Risque important
– Absence d'enduit extérieur
– Revêtement extérieur étanche à la vapeur d'eau (ex. enduit hydrofuge au mortier de ciment, revêtement filmogène polymère, peinture organique,...)

N.B. Dans ce contexte, l'installation d'une ventilation mécanique est indispensable mais insuffisante pour garantir l'absence de pathologie ultérieure.







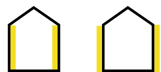
1 Pied de façade (Cité d'HBM Clos-Jouve) à Lyon 4 © G. Cluzel

2 Couronnement de façade (Cité d'HBM Lavoisier) à Lyon 3 © G. Cluzel

3 Couronnement de façade (Cité d'HBM des États-Unis) à Lyon 8 © G. Cluzel

Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Intervenir sur les murs de façade



La correction thermique

À la différence d'une isolation au sens réglementaire, les enduits correcteurs constituent une solution d'amélioration thermique superficielle. Avec un impact minime sur l'aspect de la façade, ils se prêtent particulièrement bien aux constructions en pisé de mâchefer pour réduire les déperditions et améliorer le confort hygrothermique de l'habitat.

Améliorer le confort sans trahir la façade

Composés d'agrégats aux propriétés isolantes — d'origine végétale (liège, chènevotte) ou minérale (silice, perlite) — associés à un liant à base de chaux et d'eau, les enduits correcteurs thermiques (ECT) s'appliquent directement sur les maçonneries, en face extérieure et/ou intérieure.

Certains ECT présentent une résistance thermique significative, mais ne sont pas considérés comme des isolants à part entière (> 0,07 W/m·K).

Un enduit* correcteur à base de chanvre, par exemple, possède une conductivité thermique* comprise entre 0,07 et 0,11 W/m·K. Une épaisseur de 3 à 5 cm de mortier isolant peut s'avérer ainsi suffisante pour constituer sur une paroi non isolée un « saut » de performance, les premiers centimètres étant les plus efficients en termes de plus-value thermique.

En hiver, ils permettent également d'améliorer la sensation de confort en limitant l'effet de paroi froide* provenant du rayonnement des murs.

Leur perméabilité à la vapeur d'eau est compatible avec les supports en pisé de mâchefer.

Enfin, leur épaisseur modérée permet de conserver les décors portés et les modénatures de la façade.



Application d'un enduit correcteur thermique argile-paille en paroi intérieure © DR





Projection d'un enduit* thermo-isolant (Fixit222 ®) sur une maçonnerie en pisé de mâchefer, chantier de réhabilitation énergétique de la Cité HBM des États-Unis Lyon 8 (1923) © G. Cluzel

Points d'attention et recommandations pratiques

ECT extérieur

Conception

 À privilégier comme alternative à l'ITE* pour des édifices à forte valeur patrimoniale.

 À privilégier en cas d'ITI* existante pour optimiser le complexe thermique.

 Piquer entièrement les anciens enduits avant application (DTU*).

Produits, matériaux et mise en œuvre

 Veiller à n'utiliser que que des produits perméables à la vapeur d'eau et capillaires.

Avantages
- → Amélioration du confort thermique.
- → Préservation des bénéfices de l'inertie* de la maçonnerie si absence d'ITI*.
- → Préservation des modénatures d'origine (moyennant une épaisseur d'enduit compatible) ou reconstitution possible dans la masse (selon produit).
- → Réduction des déperditions par ponts thermiques et des risques induits de condensation.
- → Solution de recours en cas d'ITE* impossible (pour cause de débord sur domaine public, règlement de voirie, normes PMR*, périmètre ou bâtiment patrimonial...)
- → Chantier possible en site occupé.

Inconvénients
- → Amélioration moderée de la résistance thermique* de la paroi; insuffisante au regard de la plupart des seuils d'éligibibilité aux aides financières et aux labels actuels (2024).
- → Nécessité d'un piquage complet de l'enduit existant (parfois cela peut être un avantage en cas d'enduit existant pathologique).

ECT intérieur

Conception

 À privilégier si un effet de paroi froide* se fait sentir (écart important de température entre l'air ambiant et la surface des murs).

Produits, matériaux et mise en œuvre

 Opter pour des produits à très faible effusivité comme l'enduit à base de granulats de liège ou l'enduit chaux-chanvre.

Avantages
- → Amélioration du ressenti thermique.
- → Préservation de l'aspect exterieur du bâtiment.
- → Préservation des bénéfices de l'inertie de la maçonnerie (confort d'été).
- → Dispense de demande d'autorisation d'urbanisme.
- → Impact faible sur la surface habitable.

Inconvénients
- → Insuffisant pour neutraliser totalement les déperditions thermiques des parois pleines.
- → Impact sur les équipements des parois périphériques intérieures (réseaux d'électricité, chauffage et plomberie)
- → Chantier possible en site occupé mais contraignant.

Risques pathologiques liés à l'humidité lors d'application d'enduit correcteur thermique



Risque minimisé

– Emploi d'un produit perspirant (V1) et capillaire (à base de fibres végétales type chaux-chanvre ou chaux-liège) et hygroscopique en intérieur (ex. enduit terre-chanvre ou chaux-chanvre)
– Emploi en complément d'une isolation thermique existante (Isolant intérieur et ECT extérieur ou Isolant extérieur et ECT intérieur)



Risque faible à moyen

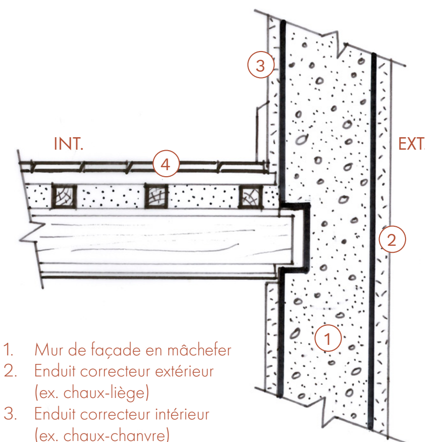
Sans objet



Risque important

– Emploi d'un produit non perspirant* (V2)

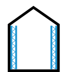
Correction thermique de la paroi en mâchefer



1. Mur de façade en mâchefer
2. Enduit correcteur extérieur (ex. chaux-liège)
3. Enduit correcteur intérieur (ex. chaux-chanvre)
4. Plancher traditionnel en bois

Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Intervenir sur les murs de façade



L'isolation thermique par l'intérieur

En raison des spécificités du mâchefer, et singulièrement de son caractère perspirant*, l'isolation des murs par l'intérieur dans l'habitat est particulièrement exigente, car les risques de condensation dans le mur sont accrus, notamment en hiver.

Avantages

- → Préservation de l'aspect exterieur du bâtiment.
- → Diminution des déperditions thermiques.
- → Suppression de l'effet de paroi froide* (hors proximité de ponts thermiques).
- → Coût compétitif.
- → Dispense de demande d'autorisation d'urbanisme.

Inconvénients

- → Formation de ponts thermiques au droit des dalles maçonnées et des refends générant des risques de condensation (sauf si une isolation continue est possible au droit du plancher – Cf. Schéma ci-dessous).
- → Privation des bénéfices de l'inertie et dégradation du confort estival lors des pics de chaleur.
- → Traitement impératif et exigeant de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe.
- → Modification des équipements des parois périphériques intérieures (réseaux d'éléctricité, chauffage et plomberie).
- → Chantier à forte nuisance en cas d'intervention en site occupé.
- → Perte de surface habitable.

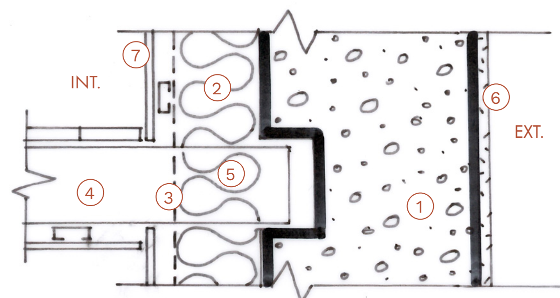
Mâchefer et ponts thermiques : un couple pathogène

Certains planchers intermédiaires dans la construction en mâchefer peuvent être la cause de désordres en cas d'isolation par l'intérieur : l'air intérieur, chaud et chargé en humidité entre en contact avec des zones froides non isolées, provoquant un phénomène de condensation et l'apparition de moisissures.

Pour les planchers à poutraison et solivage en bois, la mise en œuvre d'un isolant en périphérie dans l'épaisseur du plancher et en veillant à maintenir la continuité du frein vapeur, limite ce risque : sciage du plancher, fixation par un adhésif souple adapté au support bois ; raccord du frein vapeur autour des pièces de bois avec adhésif ou colle adaptés.

En présence d'un plancher hourdé (à poutrelles et entrevous), la mise en œuvre d'une isolation thermique par l'intérieur (ITI) est déconseillée, en raison de l'impossibilité de maîtriser le transit d'air humide dans les alvéoles des hourdis. Le passage d'air résiduel dans les zones creuses des entrevous génère un risque élevé de condensation.

Principe de l'ITI sur maçonnerie en pisé de mâchefer



1. Mur de façade en mâchefer
2. Isolant ouvert à la vapeur d'eau
3. Frein-vapeur* hygro variable
4. Plancher traditionnel en bois
5. Isolant thermique* incorporé entre pannes
6. Parement plâtre ou gypse sur ossature (lame d'air)

Points d'attention et recommandations pratiques

Conception

 Identifier et cantonner au préalable tout désordre lié à l'humidité dans les parois (remontées capillaires, infiltrations d'eau pluviale dans les murs de façade, vapeur d'eau surabondante liée à une ventilation défaillante ou une sur-occupation du logement).

 Identifier la nature constructive des planchers intermédiaires au stade des études préalables, les risques de pathologie étant accrus à ces endroits.

Produits, matériaux et mise en œuvre

 Purger l'enduit* extérieur ciment le cas échéant et s'assurer que l'enduit existant ait les propriétés requises :
- ouvert à la vapeur d'eau ($6 \leq \mu \leq 20$ ou $Sd \leq 0,5$ m) ;
- étanche à l'eau pluviale ($A \leq 1,5$ kg/m².h1/2) ;
- capillaire.

 Purger les épidermes existants intérieurs inadaptés : papiers peints vinyliques, toiles de verres encollées, revêtements plastifiés.

 Mettre en œuvre une isolation fibreuse sur ossature (ouate de cellulose, chaux-chanvre projetée, laine ou fibre de bois, bloc de chanvre).

 S'assurer que la valeur Sd* des matériaux composant le mur sera bien dégréssive de l'intérieur vers l'extérieur.

 Mettre en place contre l'isolant (côté intérieur) un frein vapeur hygrovariable (à faible Sd*). Veiller à relier très soigneusement les lés entre eux à l'aide d'un adhésif approprié afin de constituer une barrière parfaitement hermétique en soignant les points critiques : liaisons murs-plafonds, murs-sols et pourtours des baies.

Pour ce faire, s'assurer de l'élaboration en amont de tous les détails d'exécution nécessaires et d'un contrôle tout au long du chantier.

 Poser un parement de finition en enduit plâtre, plaque de plâtre ou de gypse sur ossature et appliquer une peinture acrylique ou une peinture à la chaux.

 Prévoir le recours systématique à un dispositif actif de ventilation qui limitera les risques de désordres ultérieurs.

Risques pathologiques liés à l'humidité lors d'opérations d'isolation par l'intérieur



Risque minimisé
– Paroi extérieure imperméable à l'eau pluviale.
– Périphérie des planchers bois isolée au contact du mur.
– Matériau isolant fibreux ouvert à la vapeur d'eau et capillaire.
– Continuité capillaire assurée lors de la pose de l'isolant (contact isolant/mur).
– Finition intérieure non étanche à la vapeur d'eau.
– Membrane hygrovariable* orientée ou frein-vapeur* étanche à l'air (côté intérieur).
– Système actif de renouvellement d'air permanent (VMC).



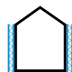
Risque faible à moyen
– Isolant avec pare-vapeur* ($\mu = 1000$) ou mise en œuvre approximative d'un frein-vapeur*. L'étanchéité à l'air n'est pas garantie à long terme en raison de la détérioration inévitable des adhésifs reliant les lés entre eux.
– Matériau isolant non capillaire (ex. polystyrène expansé ou extrudé, polyuréthane, mousse minérale type silicate de calcium ou verre cellulaire).
– Isolants biosourcés (putrescibles) en cas de persistance de problématiques d'humidité.



Risque important
– Absence de frein ou pare-vapeur*.
– Absence de ventilation naturelle ou mécanique.
– Isolant rapporté sur une paroi revêtue d'une finition étanche à la vapeur d'eau.
– Planchers intermédiaire en poutrelles-métalliques hourdis.

Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Intervenir sur les murs de façade



L'isolation thermique par l'extérieur

L'isolation thermique des façades par l'extérieure (ITE) constitue en général une mesure efficiente pour juguler les déperditions énergétiques et peut s'avérer nécessaire pour garantir par exemple l'éligibilité à un label énergétique ou à des subventions publiques.

La phase d'étude doit permettre au maître d'ouvrage de procéder aux arbitrages entre coût d'investissement et gain énergétique espéré.

Avantages

→ Neutralisation des déperditions thermiques par les murs.
→ Préservation des bénéfices de l'inertie* de la maçonnerie si absence d'ITI* par ailleurs.
→ Résorption des ponts thermiques (murs refends, dalles béton).
→ Neutralisation des risques de condensation à l'intérieur de la paroi (transferts hygrométriques à travers la paroi même en l'absence de pare-vapeur* intérieur).
→ Chantier possible en site occupé.

Inconvénients

→ Risque de dénaturation architecturale.
→ Création de ponts thermiques* en tableaux de baies en cas de conservation des occultations.
→ Perte de luminosité et d'ensoleillement en cas d'isolation des tableaux* de baies du fait de l'épaississement du mur.
→ Intervention nécessaire sur les équipements de façade (dépose/modification ou remplacement des gardes-corps, des contrevents, des marquises, etc.).
→ Affablissement mécanique potentiel de toutes les zones sujettes aux chocs : arêtes, pieds de façade, appuis de baies…
→ Contraintes administratives liées à l'empiètement sur l'espace public et les propriétés voisines en cas d'ITE rapportée en limite parcellaire.

L'enjeu de l'acceptabilité architecturale

La mise en œuvre d'une ITE présente le risque d'altérations visuelles significatives : modification des forjets*, épaississement des tableaux de baies (effet « meurtrière »), lissage des creux et reliefs, disparition des modénatures et décors portés, abandon des persiennes, etc.

Le recours à l'ITE est donc à évaluer au regard de la qualité architecturale des façades existantes et des contraintes réglementaires et patrimoniales (Cf. p.24-25).

Des « mesures compensatoires » sont envisageables moyennant un surcoût relatif d'études et de travaux : restitution des modénatures, des soubassements, des dépassées de toits, déplacement des menuiseries au nu extérieur de la maçonnerie, etc.

À défaut, il s'agira d'opter pour un enduit correcteur thermique (Cf. p.28) et/ou de recourir à d'autres leviers d'amélioration thermique :

- sur-isolation de la toiture (Cf. p.14) ;
- remplacement des menuseries avec vitrage à isolation renforcée ou triple vitrage (Cf. p.16) ;
- traitement de l'étanchéité à l'air ;
- optimisation de la ventilation (Cf. p.20).

Points d'attention et recommandations pratiques

Conception

Identifier et régler au préalable tout désordre lié à l'humidité dans les parois (remontées capillaires, infiltrations).

Privilégier l'isolation enduite sur isolant plutôt que sous bardage ventilé pour des raisons d'intégrité architecturale (fidélité au mode constructif de l'architecture maçonnée enduite).

Prévoir tous les détails techniques permettant d'assurer l'homogénéité thermique de l'enveloppe (tableaux de baies, fonds de loggias...) ; préférer une isolation continue, même mince, qu'une isolation épaisse mais discontinue ;

Prévoir tous les détails techniques permettant :

- de reconstituer les appuis de baies et tout ou partie des modénatures (cordons, bandeaux, corniches, encadrements, chainages d'angle...) en maçonnerie ou à défaut à l'aide de produits de substitution ;
- de traiter par un isolant adapté (comme le liège) la bande en creux en pied de façade pour éviter l'effet "hors-sol" du bâtiment (Cf. p.34) ;
- de reconstituer les dispositifs de protection de la façade : dépassées de toit en pignons, débords sur murs gouttereaux*, soubassements en relief, etc.

Produits, matériaux et mise en œuvre

Décaper les peintures sur enduits conservés (notamment enduits au ciment Portland de bonne tenue et encore parfaitement adhérent) par lavage haute pression et ratissage à la chaux naturelle.

Purger les enduits existants altérés et procéder au piquage complet des enduits inadaptés, présentant une base ciment (imperméables à la vapeur d'eau et/ou non étanches à l'eau).

Déposer l'isolant intérieur éventuellement présent en particulier s'il s'agit de PSE* ou XPS*.

Mettre en place un isolant fibreux ouvert à la diffusion de vapeur d'eau (type fibre de bois, béton de chanvre, laine de roche...).

En cas d'ITE sous enduit, veiller à l'adhérence et la continuité capillaire entre la paroi et l'isolant (absence de lame d'air) ainsi qu'au chevillage (tests à l'arrachement requis).

En cas d'ITE sous enduit, mettre en œuvre sur l'isolant un enduit* minéral capillaire et ouvert à la vapeur d'eau (ordre de grandeur Sd< 2m) et compatible avec le système d'ITE (avis technique requis).

Risques pathologiques liés à l'humidité lors d'opérations d'isolation par l'extérieur



Risque minimisé

– Matériau isolant perspirant à base de fibres végétales (ex. panneaux de fibre de bois, béton de chanvre...), ou laine de roche.
– Matériau isolant sous enduit minéral perspirant et capillaire.
– Matériau isolant sous bardage ventilé avec pare-pluie ouvert à la VE*.



Risque faible à moyen

– Matériau isolant faiblement perméable à la VE* (ex. Polystyrènes).
– Maintien des isolants intérieurs étanches à la vapeur d'eau.



Risque important

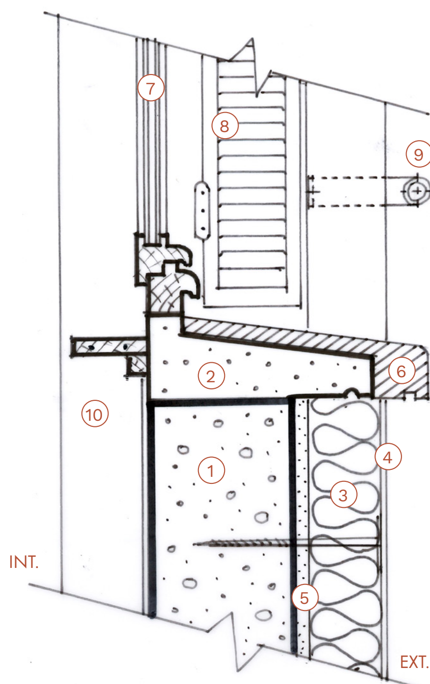
– Matériau isolant fermé à la vapeur d'eau (ex. mousses minérales, polyuréthane, liège – hors pied de mur).
– Maintien des enduits existants sur base ciment sous l'ITE.



Rénovation globale (y compris ITE) d'un immeuble d'habitation en copropriété, à Lyon 3, © Airial

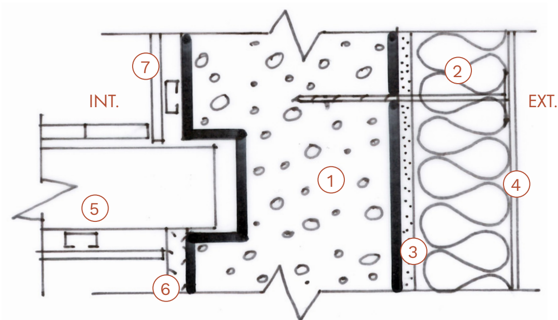


Rénovation globale (y compris ITE) d'une résidence sociale GLH à Lyon 3



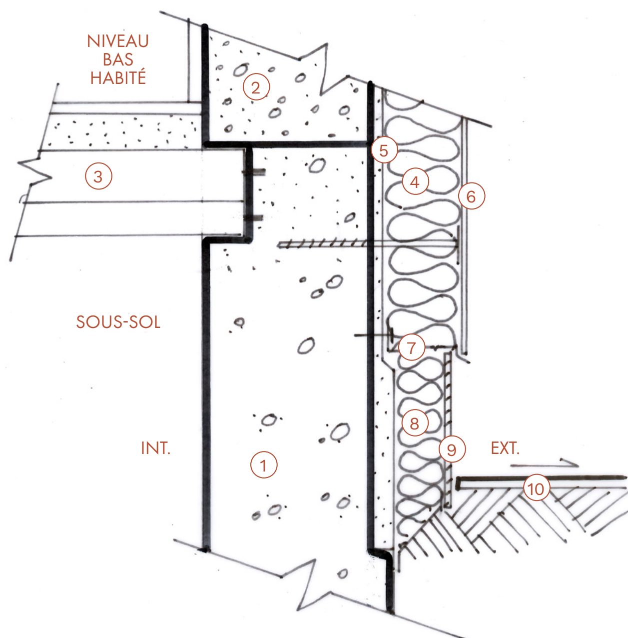
Principe de restitution de l'appui de baie en cas d'ITE

1. Allège en maçonnerie de mâchefer
2. Appui existant en béton ou ciment
3. Isolant (panneau chevillé-collé sous enduit)
4. Enduit minéral mince
5. Enduit existant conservé (si compatible)
6. Appui minéral isolant rapporté (ex. perlite expansée)
7. Menuiserie de fenêtre en bois conservée
8. Persiennes métalliques conservées
9. Lisse en acier peint déportée
10. Embrasure intérieure



Principe de l'ITE sur maçonnerie en pisé de mâchefer

1. Mur de façade en mâchefer
2. Isolant ouvert à la vapeur d'eau (panneau collé-chevillé sous enduit)
3. Enduit existant conservé (compatible si Sd ≤ 2 m env.)
4. Enduit minéral mince
5. Plancher traditionnel en bois ou poutrelles et hourdis béton
6. Enduit correcteur thermique intérieur
7. Parement plâtre ou gypse sur ossature (lame d'air)



Principe de traitement du pied de façade en cas d'ITE

1. Mur de soubassement en béton de gravier
2. Mur de façade en mâchefer
3. Plancher à hourdis en béton
4. Isolant (panneau collé-chevillé sous enduit)
5. Enduit existant conservé (si compatible)
6. Enduit minéral mince
7. Profil de départ en aluminium
8. Panneau de soubassement isolant imputrescible
9. Panneau minéral ou revêtement organo-minéral armé (protection mécanique hydrofuge)
10. Sol extérieur



Façade d'immeuble de la Cité HBM Casimir Perrier à Lyon 2 (1929-1934) après réhabilitation

Bon à savoir

Le manteau thermique au service de la régulation estivale

À l'instar de la maçonnerie lourde en mâchefer, certains isolants possèdent une capacité à stocker la chaleur et à la restituer progressivement, contribuant ainsi au déphasage thermique* des parois en période estivale. Cette performance est directement liée à leur densité et à leur capacité thermique massique. Les isolants biosourcés, en particulier, comme le béton de chanvre, se distinguent par leur aptitude à ralentir la propagation de l'onde de chaleur à travers le mur, avec un temps de déphasage de 6 à 10 heures, soit 2 à 3 fois supérieur à celui offert par des laines minérales.

Le béton cellulaire qui présente une composition purement minérale (eau, sable, chaux et ciment), une forte capacité capillaire, et un coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau favorable ($5<\mu<10$), constitue également une solution pertinente.



Prototype d'isolation thermique par l'extérieur réalisé sur un pignon-test à la Cité HBM Clos Jouve à Lyon 4 (1926) © G. Cluzel

Bon à savoir

Cas des isolants sous bardage ventilé

L'architecture en pisé de mâchefer est une architecture de la maçonnerie enduite. Les bardages de façades, qui relèvent davantage du vocabulaire de la construction légère que de celle du mur-poids, s'avèrent par conséquent moins pertinents en termes de cohérence dans l'expression architecturale du bâtiment.

Au cas par cas, cette hypothèse peut s'envisager dans une optique de révison/réécriture architecturale (Cf. Ill. ci-dessus), sous réserve d'une conception soignée : choix du produit d'habillage, calepinage et détails de tous les points sensibles (forjets/acrotères, pieds de façade, angles et arêtes, tableaux de baies, seuils et emmarchements, etc.)

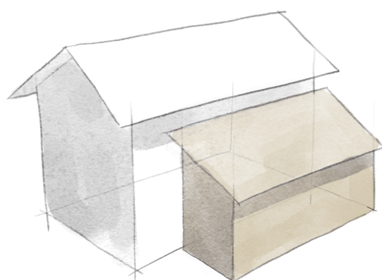
N.B.
À noter que bon nombre de matières isolantes composées de fibres biosourcées n'ont pas d'avis technique (à ce jour) pour une pose sous bardage ventilé.



Échantillon de béton de chanvre, exposition TerraFibra Award (2023) © G. Cluzel. Ce mélange de chènevotte et de chaux constitue une alternative intéressante en remplissage d'une ossature en bois, pour l'isolation thermique par l'extérieur du mur en pisé de mâchefer. En outre les éléments de modénatures peuvent être refabriqués à partir de moulages et goujonnés sur place afin de restituer les reliefs existants. Ces techniques sont couvertes par les règles professionnelles.



Chantier de réhabilitation énergétique de la Cité d'HBM Dauphiné Lacassagne à Lyon 3 (1933) (y compris ITE sur cour)



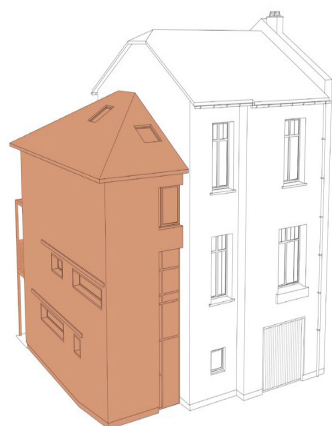
Stratégies d'intervention sur le bâti en pisé de mâchefer

Extensions, Restructurations

Ce type d'action sur le bâti s'envisage au regard d'un juste équilibre entre exigences techniques, besoins programmatiques, facteurs environnementaux (économie d'énergie, empreinte carbone) et respect de l'intégrité architecturale de l'ouvrage d'origine.

Pathologies ou anomalies fréquentes

- Anomalies structurelles (surcharge excessive de la structure porteuse)
- Fissurations entre bâti existant et ouvrage neuf (absence de prise en compte des dilatations ou tassements différentiels)
- Infiltrations d'eau aux liaisons entre bâti existant et bâti neuf, notamment aux jonctions entre toitures
- Mauvaise gestion des eaux pluviales, conduisant à des stagnations ou infiltrations en pied de murs
- Défauts d'isolation acoustique entre espaces contigüs ou superposés existants et neufs
- Défaut d'intégration visuelle (déséquilibre des proportions architecturales, couleurs et matériaux discordants)



Projet d'extension d'une maison individuelle de 1933 à Bron (69), © Barn

L'enjeu de la lisibilité constructive

Les opérations de restructuration (percements, fermetures de loggias, démolitions partielles...) ou d'extension (agrandissement par adjonction ou surélévation), permettent de redonner de l'attrait à un habitat qui par sa superficie, sa typologie, son organisation intérieure ou son rapport au jardin, ne correspond plus aux modes de vie actuels.

Pour autant, il s'agit de permettre des transformations maitrisées avec le souci de ne pas dénaturer le bâti d'origine.

Lors des interventions sur le bâti existant lui-même, il s'agit de rester fidèle à la simplicité qui a fondé sa logique constructive : massivité, compacité, prééminence des pleins, effet de socle, récurrence des motifs, nombre restreint de matériaux, de formes et de formats.

Cette fidélité n'exclut pas d'autres expressions à condition qu'elles relèvent d'un parti architectural abouti.

S'agissant des extensions, le recours à d'autres modes constructifs ou codes stylistiques peut être envisagé, comme manière de réaliser par cette greffe un contrepoint à l'architecture d'origine.

Ce geste doit alors tirer sa légitimité des caractéristiques morphologiques de l'existant et d'une compréhension fine de son environnement immédiat.



1



2



3


4


5


6

Points d'attention et recommandations pratiques

Conception

En cas de restructurations intérieures lourdes

Maintenir ou recréer des orientations traversantes, très favorables au rafraichissement naturel en période estivale (Cf. p.20).

En cas de modification de façade

Lors de percements neufs ou de rebouchages de baies existantes, veiller à respecter la composition de façade : rapport des pleins et des vides (parties opaques/parties transparentes), ordonnancement des baies (logique de travées verticales, effets de symétrie, alignements horizontaux), proportions verticale des ouvertures, etc.

En cas d'extension horizontale

Veiller à ce que le bâti initial conserve sa primauté en termes de gabarit et de prééminence visuelle sur les éléments neufs rapportés.

En cas de surélévation

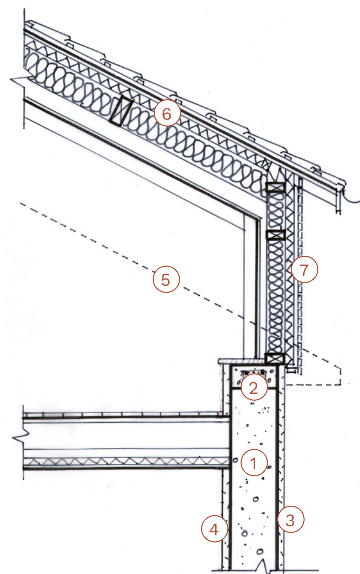
Préférer des matériaux légers pour réaliser les exhaussements du bâti existant (ossature bois, métal, maçonnerie allégée...).

Entreprendre les travaux sous couvert d'une étude d'ingénierie structure et acoustique.

Veiller à respecter le principe d'étagement et de hiérarchisation des niveaux dans la composition de la façade.

Opter pour des formes de toit qui répondent à une logique de composition architecturale d'ensemble et d'insertion dans le contexte : ensoleillement, considérations patrimoniales, surplombs visuels, etc.

Coupe de principe d'une surélévation en ossature bois



1. Mur de façade en mâchefer
2. Chaînage arasé en béton armé
3. Enduit correcteur thermique extérieur
4. Enduit correcteur thermique intérieur
5. Profil de l'ancienne toiture
6. Niveau de combles rehaussé
7. Bardage ventilé

1 Habitat individuel de 1956 à Lyon 5, création d'un sas par fermeture du perron d'entrée (2016)

2 Maison type Plan-Favier à Lyon 5, rénovation énergétique globale y compris ITE et fermeture de loggia, © G. Cluzel

3 Maison de ville à Oullins (69), surélévation en ossature bois et bardage ventilé (2008)

4 Maison de lotissement Castors à Ste-Foy-Lès-Lyon (69) ; extension et rénovation globale y compris ITE (2017), © G. Cluzel

5 Maison traditionnelle à Lyon 5, adjonction horizontale

6 Maison individuelle de 1933 à Bron (69), Réhabilitation, agrandissement et renovation énergétique (y compris ITE)

Lexique

Termes et symboles signalés par un astérisque

Acronymes

AVP : Avant-projet

DIAG : Diagnostic

DPE : Diagnostic de performance énergétique

DTU : Documents techniques unifiés (normes constructives)

ECT : Enduit correcteur thermique

EP : Eau pluviale

ESQ : Esquisse

ITE : Isolation thermique par l'extérieur

ITI : Isolation thermique par l'intérieur

PMR : Personnes à mobilité réduite

PSMV : Périmètre de sauvegarde et de mise en valeur (secteur patrimonial)

PSE : Polystyrène expansé

RME : Revêtement minéral épais

RPE : Revêtement plastique épais

STD : Simulation thermique dynamique

UDAP : Unité départementale de l'architecture et du patrimoine

VE : Vapeur d'eau

VIR : Vitrage à isolation renforcée

VMC : Ventilation mécanique contrôlée

XPS : Polystyrène extrudé

Glossaire architectural

Abergement

Système de protection contre les infiltrations d'eau, généralement utilisé autour des éléments traversant une toiture (cheminée, fenêtre de toit, etc.).

Dormant de menuiserie

Partie fixe d'un cadre de menuiserie (fenêtre, porte) sur laquelle viennent se fixer les éléments mobiles (ouvrants). Il assure la liaison avec la structure du bâtiment.

Enduit

Revêtement appliqué en une ou plusieurs couches sur une paroi (généralement un mur), constitué d'un mélange de liant, d'agrégats et d'eau. Il protège et homogénéise la surface. Traditionnellement, il se compose de trois couches : crépissage (gobetis), corps d'enduit (rebouchage) et finition (mouchetage).

Forjet de toiture

Débord du toit au-delà du nu du mur, destiné à protéger la façade..

Frein-vapeur

Membrane utilisée dans les parois pour ralentir (mais non bloquer totalement) le passage de la vapeur d'eau. Elle permet un certain transfert d'humidité, tout en protégeant les matériaux sensibles.

Gouttereau

Mur portant une gouttière ou un chéneau terminant le versant de toiture et recevant les eaux par opposition au mur pignon.

Jambette

Petite conduite secondaire raccordant un dispositif particulier (généralement une évacuation d'eau usée) à une canalisation principale (généralement d'eau pluviale).

Membrane hygrovariable

Type de frein-vapeur dont la perméabilité à la vapeur d'eau varie selon l'humidité ambiante :

- en air sec : elle agit comme un pare-vapeur* ;
- en air humide : elle agit comme un frein-vapeur.

Certaines membranes sont orientées : elles laissent passer la vapeur de l'intérieur vers l'extérieur du mur.

Pare-vapeur

Membrane ou film placé dans les parois pour bloquer le passage de la vapeur d'eau. Sa performance est exprimée par sa valeur Sd (> 100 m) ou par son facteur μ (environ 1000).

Pont thermique

Discontinuité de l'isolation dans une paroi, entraînant pertes de chaleur et risques de condensation.

Sarking

Technique d'isolation de la toiture par l'extérieur, consistant à poser des panneaux isolants rigides au-dessus du toit existant sous une nouvelle couverture.

Tableau de baie

Parties verticales et horizontales (haute et basse) de l'ébrasement d'une baie (fenêtre, porte) situées entre le nu extérieur de la façade et le dormant* de la menuiserie.

Soffite

Encoffrement en saillie destiné à masquer les organes techniques de passages de réseaux.

Glossaire technique et thermique

Anisotrope
Qualifie un matériau dont les propriétés physiques (mécaniques, thermiques, hygrométriques) varient selon la direction dans la matière.

Capillarité
Phénomène physique par lequel un liquide (comme l'eau du sol) peut remonter à l'intérieur d'un matériau poreux en défiant la gravité.
→ Voir Perméabilité à l'eau.

Conductivité thermique (λ)
Grandeur physique exprimée en W/m·K, qui mesure la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Plus elle est faible, plus le matériau est isolant.

Déphasage thermique
Temps nécessaire à la chaleur pour traverser une paroi (mur, toiture, plafond) depuis l'extérieur vers l'intérieur. Il permet de retarder et d'atténuer les effets des variations de température extérieure.

Effet de paroi froide
Sensation d'inconfort thermique due au rayonnement d'une surface intérieure froide (mur, vitrage, sol), provoquant une perception de température inférieure à celle de l'air ambiant.

Épaisseur d'air équivalente à la diffusion de vapeur d'eau (Sd)
Valeur (en mètres) qui exprime la résistance d'un matériau à la diffusion de la vapeur d'eau. Elle correspond à l'épaisseur d'air immobile offrant la même résistance.
Sd = μ x e
- μ représente le coefficient de diffusion de la vapeur ;
- e représente l'épaisseur du matériau exprimée en mètres ;
- Plus le Sd est grand, plus la paroi est résistante à la vapeur d'eau ;
- Plus le Sd est petit, plus le matériaux est perméable à la vapeur d'eau.

Étanchéité à l'air
Capacité d'une enveloppe (mur, toiture, etc.) à empêcher les infiltrations ou fuites d'air non maîtrisées entre l'intérieur et l'extérieur. Elle est exprimée en $m^3/h \cdot m^2$ ou via l'indicateur n_{50} (débit de fuite à 50 Pa de pression).

Inertie thermique
Capacité d'un matériau ou d'une paroi à stocker, conserver puis restituer la chaleur de manière progressive. Elle permet de réguler les variations de température intérieure. Une forte inertie contribue au confort d'été et d'hiver en ralentissant les transferts thermiques.

Isolant thermique
Matériau conçu pour limiter les échanges de chaleur entre deux milieux de températures différentes. Un matériau est classé comme isolant si sa conductivité thermique (λ) est inférieure à 0,07 W/m·K.

Isolant thermique biosourcé
Isolant fabriqué à partir de matières premières végétales ou animales, renouvelables et à faible empreinte carbone. Ces matériaux sont souvent putrescibles et doivent être protégés de l'humidité pour éviter toute dégradation. Les isolants biosourcés possèdent des capacités de perspirance adaptées aux maçonneries traditionnelles et au pisé de mâchefer.

Perméabilité à l'eau liquide (W)
Capacité d'un matériau à laisser passer de l'eau liquide sous l'effet d'une pression. Les mortiers d'enduit sont définis selon leur capillarité :
- W1 : perméable ($W1 > 0{,}5\ kg/m^2.s^{1/2}$) ;
- W2 : imperméable ($0{,}1 < W2 < 0{,}5\ kg/m^2.s^{1/2}$) ;
- W3 : très imperméable ($W3 < 0{,}1\ kg/m^2.s^{1/2}$).

Perspirance / Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (μ)
Capacité d'un matériau à laisser passer la vapeur d'eau (état gazeux).
μ représente le coefficient de diffusion de la vapeur :
- μ faible : matériau perméable ;
- μ élevé : matériau imperméable.

Résistance thermique (R)
Capacité d'une paroi à ralentir le passage de la chaleur. Elle est exprimée en $m^2 \cdot K/W$. Plus R est élevé, plus le matériau est isolant.

Sensibilité à l'humidité
Capacité d'un matériau à absorber ou retenir l'eau et à se détériorer en cas de contact prolongé avec l'humidité (vapeur ou liquide). Elle peut entraîner une baisse des performances thermiques, des dégradations mécaniques (gonflement, fissuration), le développement de moisissures ou de corrosion.



Bibliographie

Cluzel, Grégory (Dir.), Avenier, Cédric, Jorge, Laura, Mazel, Ivan, *Mise en valeur et modernisation des Cités lyonnaises d'HBM : l'exemple des cités d'Habitation à Bon Marché de Grand Lyon Habitat.* CAUE Rhône Métropole, 2019. 188 p.

Courgey, Samuel, Oliva, Jean-Pierre. *L'isolation thermique écologique. Conception, matériaux, mise en œuvre – Neuf et réhabilitation.* 3e éd. 20 Terre vivante, 2023. 256 p. (Techniques de pro).

ENTPE ; CEREMA Est ; CEREMA Ouest et al. BATAN. *Modélisation du comportement thermique du bâtiment ancien avant 1948* – Rapport de synthèse février 2011. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable – ADEME, 2011. 20 p.

Héberlé, Élodie. HYGROBA. *Étude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes.* Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2013. 5 cahiers 0 à 4.

Maisons Paysannes de France ; CEREMA Est. ATHEBA. *Amélioration Thermique des Bâtiments Anciens.* Ministère de l'Écologie et du Développement Durable – Ministère de la Culture et de la Communication – Fondation du patrimoine, 2011. 43 p.

POUGET Consultants ; Ebök. *Le guide BCD – Amélioration thermique des bâtiments collectifs construits de 1850 à 1974*. Éditions parisiennes, 2011. 344 p.

POUGET Consultants. Rapport. *Analyse détaillée du parc résidentiel existant* – Juillet 2017 – Version 2.0. PACTE, 2017. 130 p.

Richaud, Gilbert. De François Coignet à Tony Garnier : Le pisé de mâchefer un matériau oublié de l'ère industrielle. Dans *Archives et architecture, Mélange en mémoire de François Régis Cottin.* Société d'histoire de Lyon, 2015. p. 403-430.

Rieux, Étienne. *Le mâchefer, matériau du bâti ancien.* Oïkos, 2021. 51 p.

Sandt, Nathalie. *Rénover le pavillon des trente glorieuses en région Lyonnaise.* CAUE Rhône Métropole, 2018. 114 p.

Villemot, Étienne. *Grand Lyon Habitat. Étude sur le patrimoine HBM et le matériau mâchefer : volet thermique, hygrothermique et énergétique* – Étude comparative des réhabilitations et méthodologies. Amstein+Walthert, 2019.



Sitographie

ATHEBA, Maisons Paysannes de France. Connaissance du bâti ancien.
Fiche Comprendre son comportement hygrométrique. Juin 2010. [en ligne].
Disponible sur :
→ https://maisons-paysannes.org/restaurer-et-construire/fiches-conseils/

Association Arcanne. Base de données matériaux. 2021. [en ligne]. Disponible sur :
→ https://associationarcanne.files.wordpress.com/2021/04/bdd-materiaux-courgey-oliva-2021-04.pdf

CLIMAXION, Migration d'humidité et de vapeur d'eau dans les parois du bâti ancien.
Enertech pour Oktave et le programme Climaxion de la Région Grand Est et de l'Ademe. 2017. [en ligne]. Disponible sur :
→ https://www.enertech.fr/wp-content/uploads/modules/catalogue/pdf/45/171221_Etude%20humidite%20b%C3%A2ti%20ancien_vfinale.pdf



Liens utiles

Agence Locale de l'énergie et du Climat de la Métropole de Lyon
– Guichet Ecoreno'v
→ www.alec-lyon.org

Agence Nationale de l'Habitat
→ www.anah.gouv.fr

Association des Architectes du Patrimoine
→ www.architectes-du-patrimoine.org

Ordre des Architectes
→ www.architectes-pour-tous.fr

Solidaires pour l'Habitat Auvergne-Rhône-Alpes
→ www.auvergnerhonealpes.soliha.fr

Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnementr Rhône Métropole
→ www.caue69.fr

Ingénieurs et bureaux d'études spécialistes de l'Energie
→ www.fedene.fr

Oïkos
→ www.oikos-ecoconstruction.com

Les architectes de la rénovation
→ www.renovation.archi

Économistes et maîtres d'œuvre de la construction
→ www.untec.com

Éditions Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement Rhône Métropole
Avec le soutien du Département du Rhône et de la Métropole de Lyon

6 bis, quai Saint-Vincent 69001 Lyon
T. 04 72 07 44 55
caue69@caue69.fr
www.caue69.fr

Achevé d'imprimer sur les presses de l'imprimerie Absolu'Print, à 200 exemplaires

©2025 CAUE Rhône Métropole

Photographie de couverture ©Florent Perroud, CAUE Rhône Métropole

La reproduction, sous quelque forme qu'elle soit, de tout ou partie de ce document, est interdite sans l'autorisation expresse du CAUE Rhône Métropole.

La responsabilité des auteurs ne saurait être engagée sur la base des recommandations formulées et des choix assumés par les maîtres d'ouvrage et leurs maîtres d'œuvre.

Ce guide s'adresse aux maîtres d'ouvrage, publics et privés, professionnels et particuliers, engagés dans la réhabilitation du bâti en mâchefer. En valorisant une compréhension fine de ce matériau, il propose des principes d'intervention adaptés et durables au service de la qualité de l'habitat et du cadre de vie.

Éditions Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement Rhône Métropole

www.caue69.fr

gratuit

